

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів, які навчаються
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2018

Інтелектуальні системи управління: Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярощук, В. І. Бородин. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,91 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 81 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 10 від 21.06.2018 р.)
за поданням Вченої ради Інженерно-хімічного факультету (протокол № 5 від 29.05.2018 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Укладачі	<i>Ярощук Людмила Дем'янівна</i> , канд. техн. наук, доцент <i>Бородин Валерій Іванович</i> , асистент
Відповідальний редактор	<i>Жученко А. І.</i> , завідувач кафедри «Автоматизація хімічних виробництв», доктор технічних наук, професор
Рецензент	<i>Степанюк Андрій Романович</i> , к.т.н., доцент кафедри «Машини і апарати хімічних та нафтопереробних виробництв» інженерно-хімічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

Запропонований навчальний посібник містить матеріал для проведення лабораторного практикуму із застосування методів штучного інтелекту в задачах керування технологічними об'єктами. Розглянуто дослідження методів отримання та формалізації експертної інформації; дослідження моделей знань та даних; визначення загальної структури та властивостей експертних систем; особливості роботи з нечіткими множинами; способи розробки та дослідження нечітких систем керування; використання нейронних мереж для ідентифікації властивостей технологічних об'єктів. При виконанні лабораторних робіт передбачено використання математичних процесорів *MS Excel* та *MATLAB*.

Призначений для студентів спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм навчання.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	стор. 3
Лабораторна робота 1	
Використання та дослідження систем експертного оцінювання	4
Лабораторна робота 2	
Дослідження експертної системи для аналізу порушень процесу випалювання цегли.....	21
Лабораторна робота 3	
Робота з оболонкою експертної системи прогнозувального та діагностувального типів	32
Лабораторна робота 4	
Створення нечіткої моделі технологічного об'єкта засобами математичного процесора <i>MATLAB</i>	43
Лабораторна робота 5	
Створення та дослідження системи керування технологічним процесом на базі нечіткої логіки.....	59
Лабораторна робота 6	
Створення та дослідження нечіткої системи керування засобами <i>MATLAB + SIMULINK</i>	63
Лабораторна робота 7	
Ідентифікація об'єкта керування нейронною мережею.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	67

ВСТУП

Кредитний модуль «Інтелектуальні системи управління» однойменної дисципліни надає можливість студентам ознайомитися з теорією та практикою створення та використання систем, які використовують неформальні знання фахівців, тобто систем штучного інтелекту (ШІ). До останніх належать експертні системи, нечіткі системи та нейронні мережі.

Однією з важливих складових системи штучного інтелекту є база знань. Її формування потребує навичок роботи з нечіткою інформацією, отриманою від експертів.

Метою проведення лабораторних робіт, описаних у цьому навчальному посібнику, є краще засвоєння студентами знань про методи формалізації інформації, отриманої від експертів; типи моделей знань та даних; загальну структуру та властивості експертних систем; особливості роботи з нечіткими множинами; способи розробки нечітких систем керування, використання нейронних мереж.

Завдання до лабораторних робіт передбачають проведення досліджень в основному з типовими технологічними об'єктами, які студент розглядав у бакалаврському дипломному проєкті чи вибрав, як основний при роботі над магістерською дисертацією. Це дозволяє виступати йому й ролі справжнього експерта.

При виконанні лабораторних робіт передбачено використання математичних процесорів *MS Excel* та *MATLAB*.

Лабораторна робота № 1

ВИКОРИСТАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ

Мета роботи – навчитися отримувати, обробляти та аналізувати знання експертів при автоматизації технологічних процесів, дослідити особливості систем експертного оцінювання.

Стислі теоретичні відомості

При автоматизації складних технологічних систем виникають наступні задачі:

- оцінювання тісноти зв'язків між технологічними змінними, як вимірюваними, так і не вимірюваними;
- визначення факторів для включення у математичну модель;
- визначення пріоритетності встановлення контрольно – вимірювальної апаратури;
- визначення керувальних змінних;
- визначення причин аварійних ситуацій тощо.

Ці задачі можуть бути успішно розв'язані лише з урахуванням досвіду фахівців. Отже, класифікацію ситуацій й усунення тих з них, які можуть призвести до руйнування самої системи, доцільно здійснювати на основі систем експертних знань. Алгоритми і програмне забезпечення, які дають змогу отримати і обробити таку експертну інформацію, називаються *системами експертного оцінювання* (СЕО). При їх використанні експерти надають факторам, які впливають на певну систему, бали (так звані *ранги*).

Правила виставлення рангів залежать від вибраного способу ранжування. В цій лабораторній роботі будуть досліджуватись два алгоритми: *одночасного та попарного ранжування*.

На рис. 1.1 наведено загальну для обох способів схему алгоритму експертного оцінювання.

При *одночасному ранжуванні* експерт отримує для порівняння одразу весь перелік факторів і проставляє кожному з них відповідний ранг.

Алгоритм *попарного ранжування* базується на тому, що експерт порівнює фактори попарно.

Алгоритм, наведений на рис.1.1, має в цілому лінійну структуру, але його використання передбачає декілька циклів. Вони викликані, по-перше, опитуванням декількох фахівців а, по-друге, неодноразовим їх опитуванням. Опишемо вищенаведений алгоритм спочатку на прикладі одночасного ранжування.

Блок 1. *Визначення критеріїв компетентності експертів.* При виборі експертів керуються предметом експертизи, її метою і вимогами до однорідності експертів.

У прикладі, який наведено у лабораторній роботі, критеріями компетентності стали стаж роботи на даному технологічному обладнанні та виробничий розряд (кількість критеріїв $KR=2$).

Блок 2. *Збирання даних про експертів.* У цій частині алгоритму до ЕОМ заводять дані про кожного експерта відповідно до вибраних критеріїв компетентності (кількість експертів $NE=10$). Приклад до блоку 2 наведено у табл. 1.1.

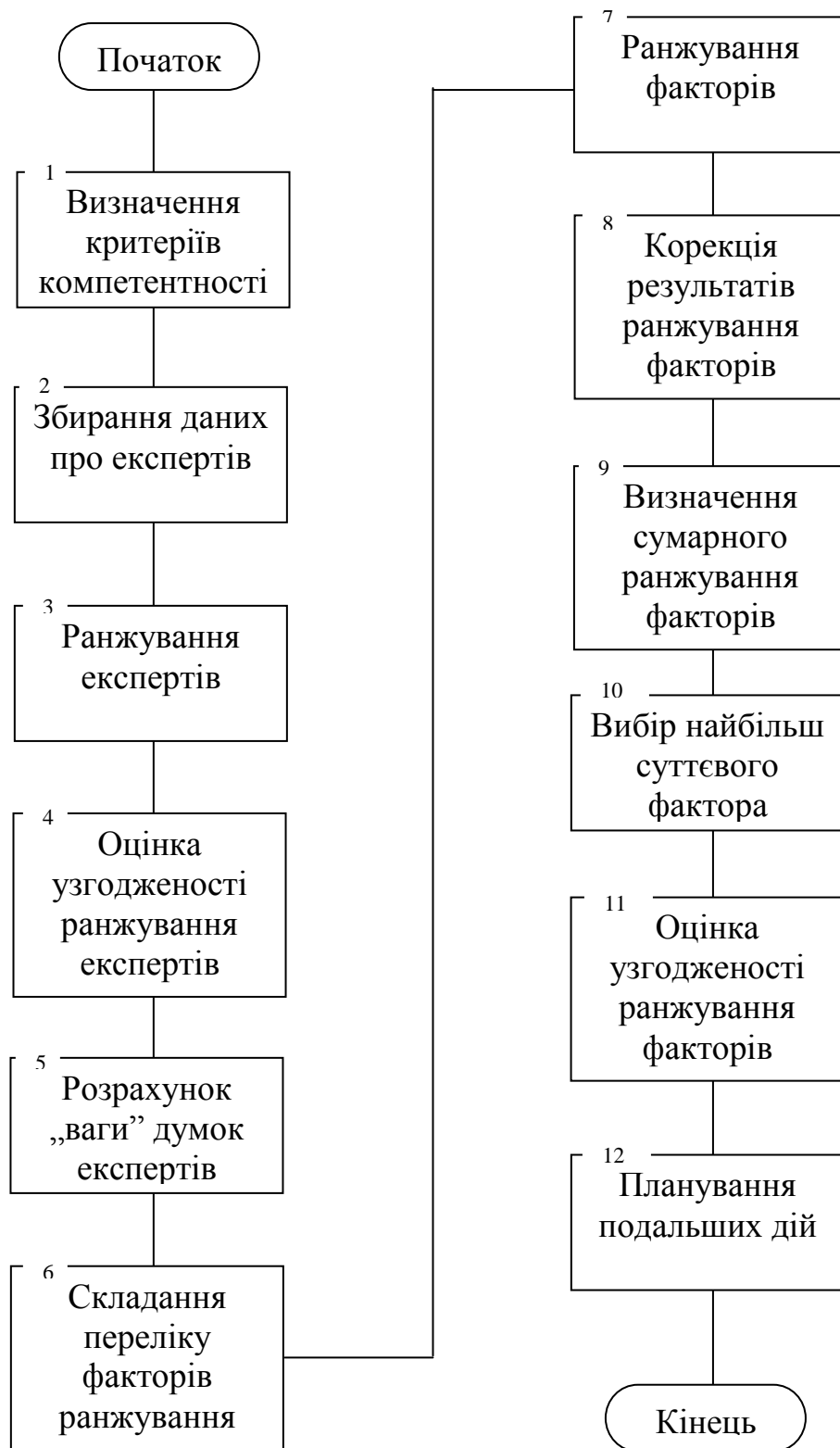


Рис.1.1. Схема алгоритму роботи системи експертного оцінювання

Таблиця 1.1. Дані про компетентність експертів

Критерій компетентності	Номер експерта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Стаж роботи (років)	0,5	5	3,5	0,5	1,5	1	0,4	8	3	6
Розряд	5	6	6	4	5	4	3	5	6	5

Блок 3. Ранжування експертів. У цьому блоці експертам надають ранги у відповідності до числових значень критеріїв їхньої компетентності (чим більші стаж та розряд, тим менші відповідні ранги). Ранжування виконують за кожним з критеріїв окремо. Якщо є однакові ранги, то переходять до нормальної матриці ранжування, а потім розраховують суму рангів за всіма ранжуваннями.

Результат такої обробки даних поданий у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 Нормальна матриця ранжування експертів

Номер ранжування	Номер експерта										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$p_{j,u}$
1(за стажем)	8,5	3	4	8,5	6	7	10	1	5	2	2
2 (за розрядом)	5,5	2	2	8,5	5,5	8,5	10	5,5	2	5,5	3+4+2
$\sum_{j=1}^{KR} y_{ij}$	14	5	6	17	11,5	15,5	20	6,5	7	7,5	-
Результуючий ранг	7	1	2	9	6	8	10	3	4	5	-

Блок 4. Оцінка узгодженості ранжування експертів. У табл. 1.2 величина $p_{j,u}$ - це кількість повторень u -о рангу у j -у рядку;

$\sum_{j=1}^{KR} y_{ij}$ - сума рангів, отриманих i -м експертом у KR ранжуваннях.

Для з'ясування узгодженості ранжування експертів визначають коефіцієнт конкордації і оцінюють його статистичну значущість.

Приклад розрахунку коефіцієнта конкордації ранжування експертів:

а) розрахунок середнього рангу нормальної матриці рангів експертів:

$$B = \frac{1}{2} KR(NE - 1) = 11;$$

б) обчислення суми квадратів різниць між членами сумарного ранжування і членами ряду, який складено із середніх значень:

$$S_e = \sum_{i=1}^{NE} \left(\sum_{j=1}^{KR} y_{ij} - B \right)^2 = 256;$$

в) визначення коефіцієнта конкордації ранжування експертів:

$$W_e = \frac{12S_e}{KR^2(NE^3 - NE) - KR \sum_{j=1}^L P_j}, \quad (1.1)$$

де L - кількість рядків у табл. 1.2, які містять однакові («зв'язані») ранги, $L=2$.

Величину P_j розраховують за формулою

$$P_j = \sum_{u=1}^U (p_{j,u}^3 - p_{j,u}),$$

де U - кількість типів «зв'язаних» рангів у j -му рядку табл. 1.2 (для $j=1$, $U=1$; для $j=2$, $U=3$).

Статистичну значущість коефіцієнта конкордації перевіряють за χ^2 -критерієм (критерієм Пірсона). Розрахункове значення визначають за виразом

$$\chi_e^2 = KR(NE - 1)W_e = 14,76.$$

При рівні значущості $\alpha = 0,1$ і ступені вільності $NU = NE - 1 = 9$, табличне значення $\chi_{e,tabl}^2$ критерію дорівнює 14.7.

Отже, виконується умова

$$\chi_e^2 > \chi_{e,tabl}^2. \quad (1.2)$$

Таким чином, можна вважати узгодженим ранжування експертів при $\alpha = 0,1$.

Блок 5. Розрахунок «ваги» думок експертів. Найдосвідченішим експертом вважається той, у якого сума рангів буде найменшою (у розглянутому прикладі це другий експерт). Його думці надається «вага» $\delta_2 = 2$. Думка найменш досвідченого експерта (7-го) має «вагу» $\delta_7 = 1$.

Для визначення «ваги» думок інших експертів використовують рівняння

$$\delta_i = a + c \sum_{j=1}^{KR} y_{ij}.$$

Для визначення коефіцієнтів a та b запишемо систему

$$\begin{cases} 2 = a + c \cdot 5; \\ 1 = a + c \cdot 20, \end{cases}$$

звідки $a = 7/3, b = -1/15$.

Для прикладу визначимо «вагу» думки 1-о експерта:

$$\delta_3 = \frac{7}{3} - \frac{1}{15}14 = 1,4.$$

Блок 6. *Складання переліку факторів ранжування.* У список для ранжування включають фактори, які впливають на хід технологічного процесу.

Блок 7. *Ранжування факторів.* У цій частині алгоритму виконують власне ранжування як таке. Згідно з методом одночасного ранжування експерти ставлять у відповідність кожному фактору ранг - число з натурального ряду $\overline{1, K}$, де K - кількість факторів у списку. Правило ранжування таке - чим менше фактор впливає на технологію, тим більший ранг йому треба надати.

Значущість кількох факторів може бути однаковою, і їм надають однакові ранги. Приклад ранжування наведений у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 Результати ранжування факторів

Номер експерта ($j = \overline{1, NE}$)	Номер фактору ($i = \overline{1, K}$)					
	1	2	3	4	5	6
1	2	2	2	2	1	1
2	3	3	3	2	1	1
3	2	4	2	3	1	1
...	-	-	-	-	-	-

У цьому ж блоці виконується перехід до нормального виду матриці рангів (див.табл. 1.4), тобто враховують той факт, що декілька факторів набули одного і того ж рангу.

Таблиця 1.4 Нормальна матриця рангів

Номер експерта ($j = \overline{1, NE}$)	Номер фактору ($i = \overline{1, K}$)					
	1	2	3	4	5	6
1	4,5	4,5	4,5	4,5	1,5	1,5
2	5	5	5	3	1,5	1,5
3	3,5	6	3,5	5	1,5	1,5
...	-	-	-	-	-	-

Блок 8. *Корекція результатів ранжування факторів.* Елементи нормальної матриці коригують з урахуванням «ваги» думок фахівців, які розраховують у блоці 3.

Основними показниками сили впливу фактору на процес є «зважені» суми рангів:

$$\sum_{j=1}^{NE} a_{ij} \delta_j,$$

де a_{ij} - ранг, що був наданий i -у фактору j -м експертом без урахування його компетентності.

Результати експертного опитування, в яких врахована «вага» думок експертів, наведені у табл. 1.5.

Таблиця 1.5 Таблиця «зважених» рангів

Номер експерта ($j = \overline{1, NE}$)	Номер фактора ($i = \overline{1, K}$)						t_v
	1	2	3	4	5	6	
1	6,30	6,30	6,30	6,30	2,10	2,10	4; 2
2	10,00	10,00	10,00	6,00	3,00	3,00	3; 2
3	6,76	11,56	6,76	9,65	2,90	2,90	2; 2
...	-	-	-	-	-	-	
$\sum_{j=1}^{NE} a_{ij} \delta_j$	52,72	69,37	69,87	65,88	36,89	41,63	

У табл. 1.5 параметр $t_{j,v}$ - кількість однакових рангів різних типів у рядку. Так, у першому рядку два різних типи: 6,30 та 2,10. Перших значень - 4, інших - 2; тому $t_{1,1}=4$; $t_{1,2}=2$. Якщо немає однакових значень у рядку, то $t_v=0$.

Блок 9. *Визначення сумарного ранжування факторів.* Виконують підсумовування «зважених» рангів по всіх експертах (див. $\sum_{j=1}^{NE} a_{ij} \delta_j$ табл. 1.5).

Блок 10. *Вибір найбільш суттєвого фактора.* Умова вибору - найменше значення суми рангів (у прикладі це 5-й фактор).

Блок. 11. *Оцінка узгодженості ранжування факторів.* Обчислюють коефіцієнт конкордації за формулою, аналогічною (1.1):

$$W_f = \frac{12S_f}{\left[NE^2(K^3 - K) - \sum_{j=1}^{NE} T_j \right] \left(\frac{1}{NE} \sum_{j=1}^{NE} \delta_j^2 \right)},$$

де

$$S_f = \sum_{i=1}^K \left(\sum_{j=1}^{NE} a_{ij} \delta_j - \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{NE} a_{ij} \delta_j}{K} \right) = 1045,36;$$

$$T_j = \sum_{v=1}^P (t_{vj}^3 - t_{vj}),$$

P - кількість типів «зв'язаних» рангів в j -у рядку.

Після цього розраховують значення критерію Пірсона за формулою

$$\chi_f^2 = NE(K-1)W_f = 11,9.$$

Табличне значення критерію Пірсона визначають за рівнем значущості α і ступенем вільності $NF = K - 1 = 5$. Так, для $\alpha = 0,05$ і $NF = 5$ отримаємо $\chi_{f,tabl}^2 = 11,1$. У цьому разі виконується умова

$$\chi_f^2 > \chi_{f,tabl}^2, \quad (1.3)$$

і можна говорити про наявність узгодженості у думках експертів при ранжуванні факторів.

Блок 12. Планування подальших дій. Якщо умова (1.3) виконується, то задачу можна вважати розв'язаною. У тому випадку, коли умова (1.3) не виконується, то потрібно звернути увагу на правильність формулювання задачі дослідження, уточнити склад групи експертів і повернутися до початку розв'язання задачі (від блоку 1).

Розглянемо застосування алгоритму для метода попарного ранжування. Відмінності є для блоків 7-11, далі позначатимемо ці блоки індексом «п».

Блок 7^п. Експерт згідно з цим методом оцінює більш значущий фактор одиницею (1), а інший нулем (0). Результат такого ранжування може бути подано таким, наприклад, як у табл. 1.6.

Таблиця 1.6. Результати ранжування при парному порівнянні

Номери факторів	1	2	3	...	K
1	-	1	0	-	-
2	0	-	1	-	-
3	1	0	-	-	-
...	-	-	-	-	-
K	-	-	-	-	-

Одиницю записуємо у комірку ij (i - номер рядка, j - номер стовпчика), якщо фактору i віддаємо перевагу перед фактором j . Таку таблицю заповнює кожний з NE експертів.

Блок 8^п. Якщо треба врахувати компетентність експерта, то кожний елемент таблиці перемножують на «вагу» думки відповідного експерта.

Блок 9^п. Для визначення результату ранжування створюють нову таблицю, у кожній її комірці вказують суму чисел, які знаходяться у відповідних комірках всіх NE таблиць.

Блок 10^п. Підраховують суму чисел у всіх комірках для кожного рядка i ($i = \overline{1, K}$). Чим більша ця сума, тим більше значення має i -й фактор.

Блок 11^п. Для визначення узгодженості ранжування використовують лише частину таблиці, розташовану або над головною діагоналлю, або під нею.

Коефіцієнт конкордації обчислюють за формулою

$$W = \frac{4Q}{Q_{\max}} = \frac{4 \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K C_2^{r_{ij}}}{NE(NE-1)K(K-1)},$$

де $C_2^{r_{ij}}$ - біноміальний коефіцієнт; r_{ij} - число, що розміщено у комірці з координатами ij ($i \neq j$).

Значення Q може бути отримане таким чином:

$$Q = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K r_{ij}^2 - NE \sum_{i=1}^K r_{ij} + C_2^{NE} C_2^K.$$

Для оцінювання значущості коефіцієнта узгодженості W використовують критерій χ^2 .

Розраховують значення цього критерію так:

$$\chi_f^2 = \frac{4}{NE - 2} \left(Q - \frac{1}{2} C_2^K C_2^{NE} \frac{NE - 3}{NE - 2} \right),$$

Далі порівнюють χ_f^2 з табличним значенням $\chi_{f,tabl}^2$ для рівня значущості α і NF ступенів вільності.

Параметр NF обчислюють за формулою

$$NF = \frac{C_2^K NE (NE - 1)}{(NE - 1)^2}$$

і округлюють до найближчого цілого.

Порядок виконання роботи

1. Сформулювати задачу дослідження. Визначити список факторів, які треба ранжувати за ступенем впливу на певний критерій.

2. Провести експертні опитування з врахуванням компетентності експертів та без нього. Роботу з програмами виконувати за зразками, наведеними в лабораторній роботі (див. рис.1.2 - 1.8 для одночасного ранжування та рис.1.9 – 1.11 для попарного).

3. Розрахувати показники експертизи за обома способами ранжування. Визначити узгодженість ранжувань факторів та експертів за заданими критеріями компетентності. Розрахунки виконати у середовищі *MS Excel*.

Вміст звіту

Опис предметної області, задача дослідження, початкові та нормальні матриці ранжування факторів та експертів, результати ранжування у числовому та графічному видах. Розрахунки, виконані у *MS Excel*.

За результатами лабораторної роботи дослідити суперечливість думок експертів. Зробити висновки з наступних питань:

- а) про можливість роз'язання поставленої задачі аналітичним чи експериментально-статистичним методами;
- б) про узгодженість думок експертів;
- в) про узгодженість вибраних критеріїв компетентності;
- г) про вплив критеріїв компетентності експертів на результати ранжування факторів;
- д) про наявність суперечностей між результатами двох методів ранжування.

Контрольні запитання

1. Для чого використовують системи експертного оцінювання?
2. Які є СЕО? Як виконується ранжування в кожній з них?
3. Як визначити узгодженість думок експертів у кожній із систем?
4. Як визначити «вагу» думки експерта?
5. Як використати дані про компетентність експертів?
5. Які можуть бути подальші дії при неузгодженості роботи експертів?
6. Як подати результати експертизи графічно?
7. Як можна оцінити результативність експертизи за видом графічного зображення її результатів?

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПОРУШЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИПАЛЮВАННЯ ЦЕГЛИ

Мета роботи – дослідити структуру бази знань та спосіб роботи механізму виведення експертної системи (ЕС) прогнозувального та діагностувального типів для предметної області «Керування процесом випалювання керамічної цегли».

Стислі теоретичні відомості

Задача запобігання порушенням нормального перебігу технологічних процесів виникає при розробці будь-якої системи керування. Особливо актуальне розв'язання цієї задачі для виробництв, яким притаманні такі риси, як велика потужність, енергоємність, наявність вибухо - та пожежонебезпечних речовин. Таким, зокрема, є виробництво керамічної цегли. Найбільш важливим його етапом є випалювання цегли в тунельній печі.

Структурно-параметрична схема цього процесу представлена на рис.2.1.

Тунельна піч є складним багатofакторним об'єктом керування із значною кількістю матеріальних потоків, властивості якого розподілені за всіма координатами, але найбільш суттєво – по довжині. Керування окремими процесами, які мають місце у печі (нагрівання, випалювання, охолодження матеріалу, згоряння палива тощо), складно здійснювати через відсутність інформації про стан виробів впродовж усього часу, що цеглини знаходяться в середині корпусу печі, а це більше двох діб.

Через ці причини кожне порушення, яке може статися в печі, призводить до тривалого пошуку і усунення недоліків і суттєвих матеріальних збитків.

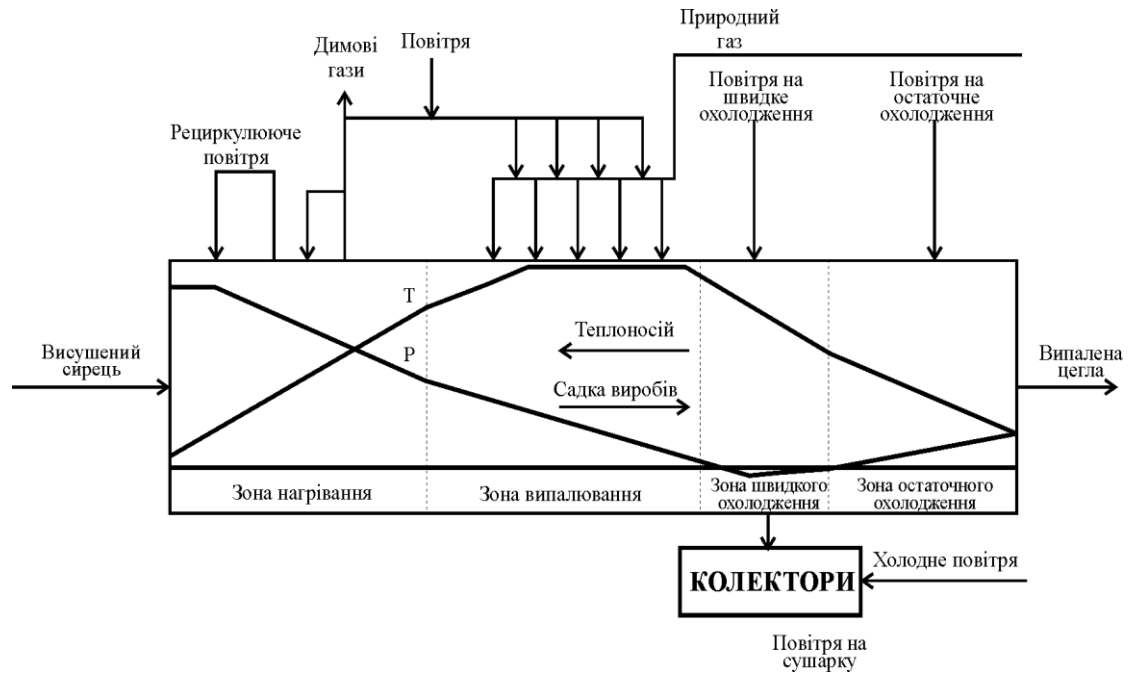


Рис.2.1. Структурно - параметрична схема процесу випалювання керамічної цегли

Запропонована для дослідження в лабораторній роботі експертна система розрахована на функціонування в структурі загальної системи керування і виконання наступних задач:

- діагностування причин аварійних ситуацій;
- прогнозування можливих порушень нормального режиму роботи.

Головною складовою ЕС є база знань (БЗ). Інформація, яку закладено у БЗ, є переліком фактів та правил використання цих фактів (правил продукції). У розглянутій БЗ фактами є можливі порушення процесу випалювання, викликані різноманітними причинами.

Для кращого сприйняття цієї інформації створено мережу порушень, фрагмент якої зображено на рис.2.2.

Пересування по мережі згори в низ дозволяє виконувати пошук причин порушень технологічного процесу, тобто діагностування порушень.

Пересування у протилежному напрямку – знизу на гору, дає можливість з'ясувати наслідки кожного порушення, тобто виконує прогнозування.

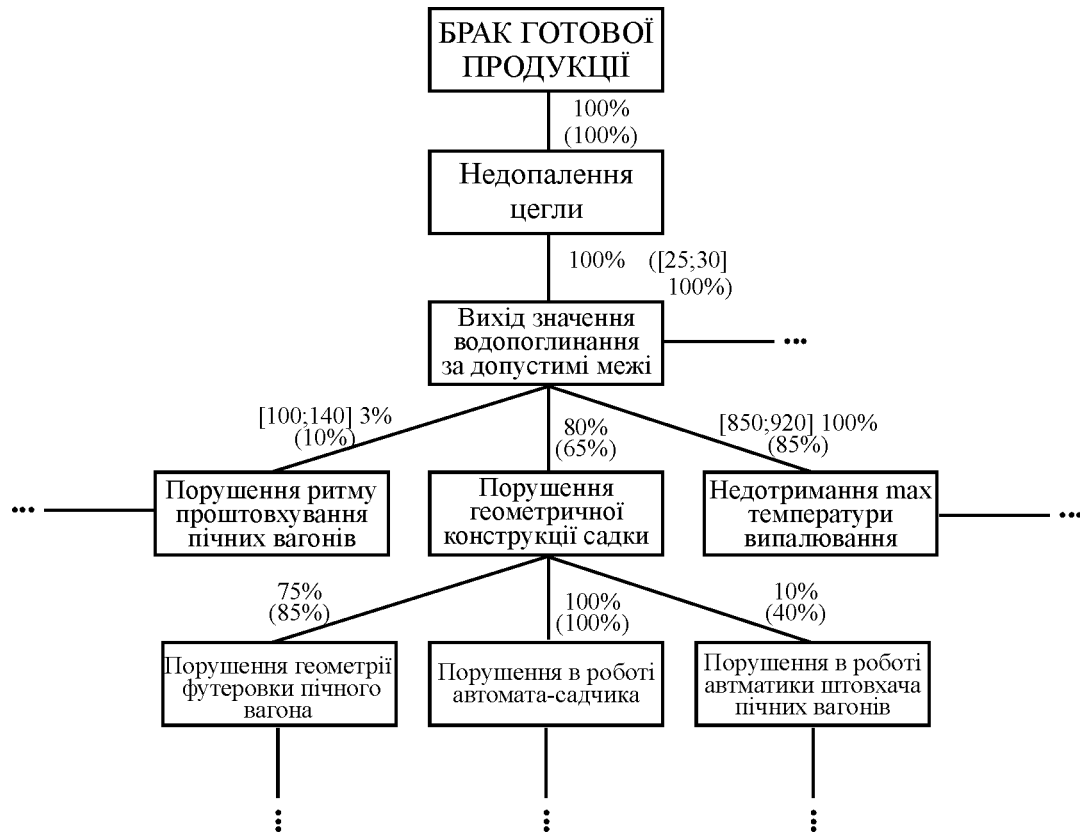


Рис.2.2. Семантична мережа для подання знань про процес випалювання

У вузлах мережі знаходяться факти – можливі порушення. Дуги мережі мають смисл «може бути викликане» для діагностування причин порушень та «викликає» – при прогнозуванні.

Біля кожної дуги мережі розташована певна інформація. При назвах контрольованих змінних у квадратних дужках наведено їх менші та більші значення.

Якщо значення контрольованої змінної набуває значення з цього інтервалу, то ситуація, зазначена у верхньому вузлі може викликати ситуацію з нижнього вузла. Відсотки означають імовірність виникнення порушень: вказані без дужок належать режиму діагностування, з дужками – прогнозуванню.

Приклад трактування мережі для діагностування причин порушення *Брак продукції*.

Брак продукції з імовірністю 100% має місце тоді, коли визнано факт ***Недопалення цегли***. А цей факт з імовірністю 100% може бути викликаний порушенням ***Вихід водопоглинання за допустимі межі***. Слід зазначити, що ***Недопалення цегли*** викликають ще й інші порушення, які будуть досліджуватися в ході виконання лабораторної роботи. Для прикладу розглядаємо тільки мережу, зображену на рис. 2.2.

Вихід водопоглинання за допустимі межі може бути викликаний наступними подіями:

- ***Порушенням ритму прошивування пічних вагонів*** з імовірністю 3%;
- ***Порушенням геометричної конструкції садки*** з імовірністю 80%. Ця подія, в свою чергу може бути викликана наступним:
 - ***Порушенням геометрії футеровки пічного вагона*** (75%);
 - ***Порушення в роботі автомата - садчика*** (100%);
 - ***Порушення в роботі автоматики штовхача пічних вагонів*** (10%).
- ***Недотримання максимальної (тах) температури випалювання*** з імовірністю 100%.

Приклад трактування графу для прогнозування. Почнемо з нижніх вузлів мережі. ***Порушення геометрії футеровки пічного вагона*** з 85% імовірністю викликає ***Порушення геометричної конструкції садки***.

Ця подія, в свою чергу, вплине на ***Вихід значення водопоглинання за допустимі межі*** з імовірністю 65%, а це з імовірністю 100% є причиною ***Недопалення цегли***.

Для взаємодії ЕС та користувача розроблений механізм виведення. Він складається з низки вікон, зокрема ***Привітання*** (заставка) (рис.2.3), ***Вибір режиму*** (рис.2.4), ***Перелік аварійних ситуацій*** найвищого рівня(рис.2.5), типових вікон ***діагностування*** (рис.2.6) та ***прогнозування*** (рис.2.7) нижніх рівнів.

Наведемо приклади цих вікон.



Рис.2.3. Заставка ЕС *ExpertSys* версії 5.1.2

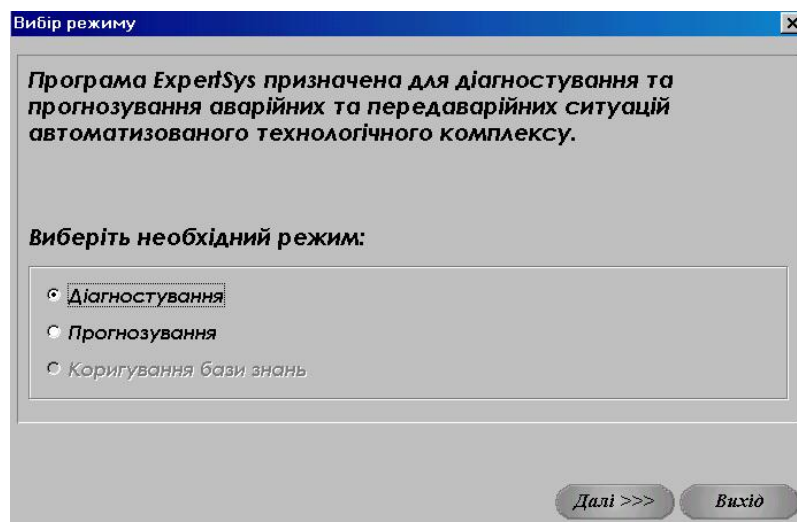


Рис.2.4. Вікно з поясненням призначення ЕС *ExpertSys* та переліком режимів її робіт

При діагностуванні причин аварії серед наданого переліку можливих причин (див. рис. 2.5) треба вибрати ту, яка дійсно відбулася, і могла спровокувати появу порушення вищого рівня. На практиці, якщо невідомо, яка саме відбулася подія з наданого списку, можна керуватися наведеними ймовірностями (див. рис. 2.6).

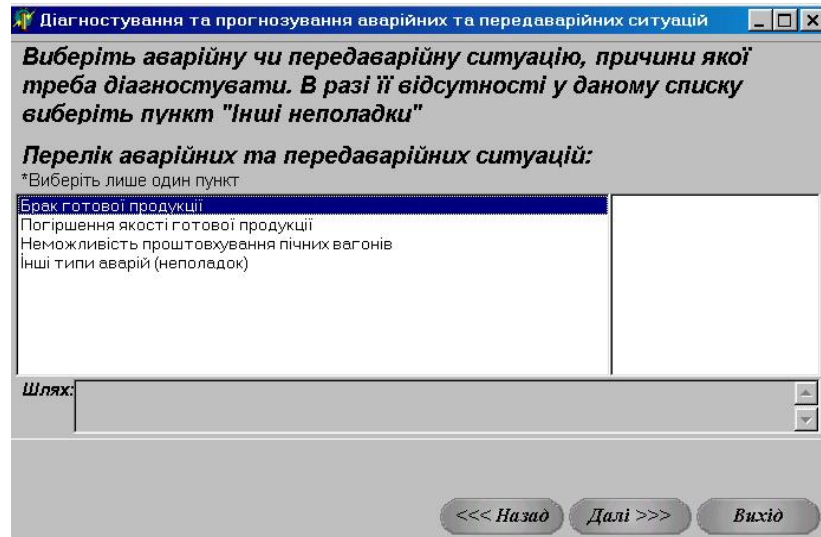


Рис.2.5. Вікно діагностування з переліком аварійних ситуацій найвищого рівня

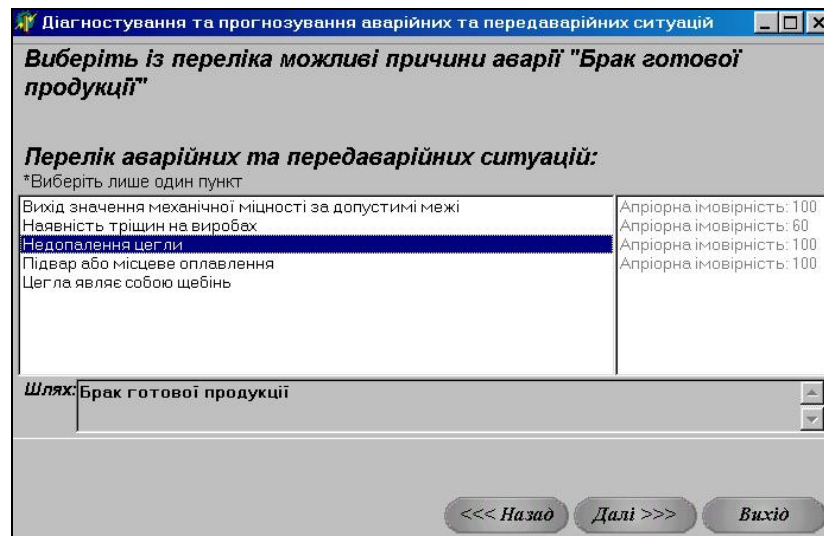


Рис.2.6. Вікно діагностування з переліком аварійних ситуацій першого рівня

Режим прогнозування дозволяє визначити, до яких наслідків може призвести певне порушення.

Для того, щоб пришвидшити пошук порушення, що сталося, серед значної кількості їх у БЗ, усі порушення умовно розділено на чотири групи (див. рис. 2.7):

- Контрольовані технологічні змінні;
- Технологічне обладнання;
- Система контролю чи керування;
- Людський фактор.

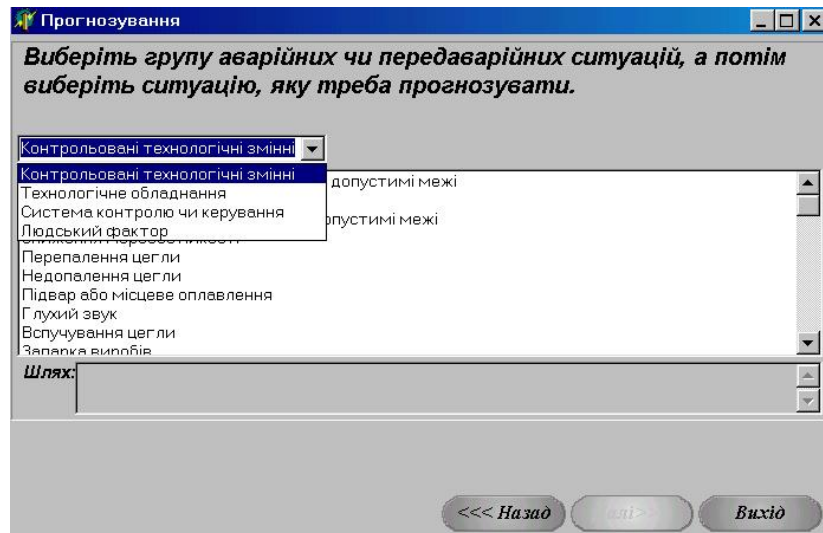


Рис.2.7. Вікно прогнозування для вибору порушень

Усі події, які входять до мережі аварійних ситуацій є сумісними. Тому для визначення ймовірності події верхнього рівня, потрібно використовувати формулу імовірності для суми N сумісних подій нижнього рівня:

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_N) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_N) - P(A_1 A_2) - \dots - P(A_{N-1} A_N) + \\ + P(A_1 A_2 A_3) + \dots + P(A_{N-2} A_{N-1} A_N) + \dots + (-1)^N P(A_1 A_2 \dots A_N),$$

де $P(A_1), P(A_2), \dots, P(A_N)$ – імовірності виникнення подій A_1, A_2, \dots, A_N ; $P(A_1 A_2)$ – імовірність сумісного виникнення двох подій A_1 та A_2 ; $P(A_1 A_2 \dots A_N)$ – імовірність сумісного виникнення N подій.

Порядок виконання роботи

1. Активізувати роботи ЕС за допомогою програми *ExpSys_pr* з папки *D:\LD\Koslow_Sakr*.
2. У вікні **Привітання** (рис.2.3) натиснути кнопку **Далі>>>**.
3. У вікні **Вибору режиму** (рис.2.4) вибрати опцію **Діагностування**. Натиснути кнопку **Далі>>>**.
4. З переліку аварійних та передаварійних ситуацій (рис.2.5) вибрати **Брак готової продукції**. Натиснути кнопку **Далі>>>**.
5. З переліку ситуацій, що визначають брак продукції вибрати **Недопалення цегли**. Знайти всі можливі причини появи цього порушення. Дані для введення в програму, наведені у табл. 2.1.
6. Повернутися до вікна (рис.2.5). Вибрати **Брак готової продукції**. З переліку ситуацій, що визначають брак продукції вибрати **Підвар або місцеве оплавлення**. Знайти всі можливі причини появи цього порушення.
7. Повернутись до **Вікна вибору режиму** (рис. 2.4) шляхом натискання кнопки **<<<Назад**.
8. Вибрати опцію **Прогнозування**. Натиснути кнопку **Далі>>**.
9. У вікні прогнозування (рис.2.7) розкрити меню, що випадає, а у ньому пункт **Контрольовані технологічні змінні**. Знайти наслідки ситуацій:
 - підсоси повітря в каналі печі;
 - порушення аеродинамічного режиму;
 - недотримання максимальної температури випалювання.
10. У меню, що випадає, вибрати пункт **Система контролю чи керування**. Знайти наслідки ситуацій:
 - погана робота автоматики пічного штовхача;
 - незадовільна робота контуру співвідношення газ/повітря;
 - незадовільна робота контуру керування температурою.
10. У меню, що випадає, вибрати пункт **Людський фактор**. Знайти можливі наслідки помилкових дій персоналу.

Вміст звіту

Зображення мереж аварійних ситуацій ***Брак готової продукції*** та ***Погіршення якості готової продукції***. Приклад розрахунку ймовірності порушення верхнього рівня за результатами порушень нижнього рівня.

Фреймова структура, яку можна використати для бази знань досліджуваної експертної системи.

Контрольні запитання

1. Що таке експертна система?
2. Які функції виконує досліджена ЕС?
3. Назвіть загальні складові ЕС?
4. Які функції виконує інженер знань при створенні цієї ЕС?
5. Наведіть приклад спілкування інженера знань з експертом предметної області для отримання БЗ цієї ЕС.
6. На прикладі цієї системи поясніть роботу механізму виведення.
7. Як розрахувати ймовірність заданої викладачем події верхнього рівня за ймовірностями подій нижнього рівня?

Таблиця 2.1. Інтервали значень змінних, які необхідно вводити в програму для аварійної ситуації «недопал цегли»

№ п/п	Назва змінної	Інтервали значень для уведення
1	Водопоглинання (для браку продукції)	0-30
2	Максимальна температура випалювання	900-1080
3	Ритм проштовхування	0,52-0,8
4	Відхилення значення тиску у трубопроводі з природним газом	0-0,29
5	Порушення співвідношення витрат гаряче повітря/природний газ	0-20
6	Перепад тиску між пічним і під вагонеточним каналами	0,25-0,4
7	Об'єм повітря, що відбирається на сушарку	751-850
8	Об'єм димових газів, що викидаються	186-350
9	Температура на початкових позиціях зони випалювання	700-750
10	Об'єм повітря на кінцеве охолодження	700-799
11	Залишкова відносна вологість	3,1-4,99
12	Температура повітря на сушарку	60-79
13	Час перебування цегли у сушарці	85-90
14	Температура рециркуляції повітря	50-99
15	Витрата повітря на швидке охолодження	500-599
16	Температура повітря, що відбирається на сушарку	150-199
17	Температура повітря, що подається на колектор	5-14
18	Температура виробів при надходженні до печі	0-10
19	Температура фазових перетворень	600-699

Лабораторна робота №3

РОБОТА З ОБОЛОНКОЮ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАЛЬНОГО ТА ДІАГНОСТУВАЛЬНОГО ТИПІВ

Мета роботи – отримати поняття про оболонки експертних систем, дослідити процес формування бази знань ЕС прогнозуючого та діагностуючого типів для предметної області «Автоматизація технологічних процесів».

Стислі теоретичні відомості

Отримані від експертів знання про предметну область, оформлені певним чином, називають *базою знань (БЗ)*.

Способи розв'язування задачі та організації діалогу з користувачем (наприклад, у якій формі роздрукувати результат рішення, вивести текст повідомлення, організувати ілюстрації і т. ін.) називають *механізмом виведення*. Механізм виведення, який не містить знань, називають *оболонкою ЕС*. Отже, оболонка ЕС є системою програм, за допомогою якої можна в подальшому створювати експертні системи для різних предметних областей. Існує значна кількість оболонок, які відрізняються за характеристиками предметної області, призначенням ЕС, за способом спілкування з користувачем, реалізацією внутрішньої структури бази знань тощо.

У даній лабораторній роботі розглянута одна з оболонок, використовуючи яку студент зрозуміє проблеми спілкування з оболонками, усвідомить необхідність структурованості знань предметної області, навчиться використовувати моделі знань.

Запропонована оболонка призначена для роботи зі знаннями, моделлю яких є ієрархічна мережа. Діагностика і прогноз найчастіше можуть бути представлені ланцюжками міркувань, які відповідають такій моделі.

У лабораторній роботі досліджують оболонку *YarExpert*, яка має характерний для *Windows* - програм рядок заголовка і рядок меню. Це меню включає наступні команди: **База знань**, **Режими роботи**, **Параметри**, **Довідка**.

Команда **База знань** призначена для дій з файлами БЗ і має опції, представлені на рис. 3.1.

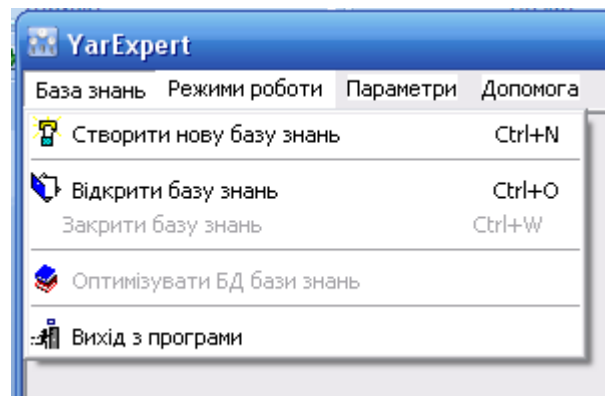


Рис. 3.1. Опції команди **База знань**

При створенні файлу БЗ використовують команду **Створити нову базу знань**. У результаті її виконання виникає діалогове вікно **Зберегти файл бази знань**, у якому треба вказати місце майбутнього розташування файлу з БЗ на диску, і натискувати кнопку **Створити**.

Робота з файлом БЗ можлива, якщо виконати команди меню **База знань / Відкрити базу знань**. При цьому виникає діалогове вікно **Відкрити файл бази знань**. У цьому вікні слід вказати шлях для пошуку необхідного файлу, його ім'я і натиснути кнопку **Відкрити**.

Якщо відкрили нову, порожню БЗ, то з'являється вікно з повідомленням про те, що її можна тільки заповнювати, а інші операції з нею неможливі.

Команда головного меню *Режими роботи* має опції, представлені на рис.3.2:

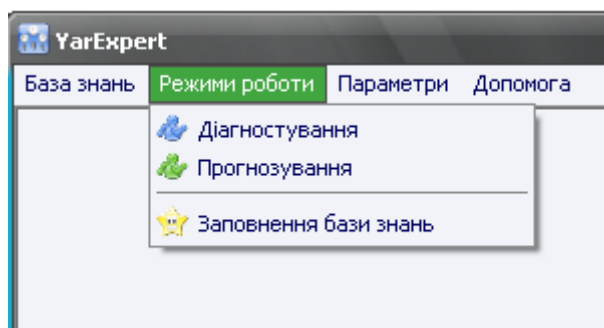


Рис. 3.2. Опції команди *Режими роботи*

Для заповнення і редагування записів БЗ потрібно виконати команди *Режими роботи / Редагування бази знань*. При формуванні БЗ необхідно ввести пароль в спеціальне віконце. Після правильної відповіді виникає робоче вікно для заповнення і редагування БЗ. Воно має свій рядок меню з командами *Створення ситуацій найвищого рівня, Редагування ситуацій, Видалення ситуацій найвищого рівня*.

Перша з вказаних команд має текстове поле *Введіть нову ситуацію*. В нього треба внести один з вузлів найвищого рівня мережі (графу) ситуацій БЗ вибраної предметної області. Так, для мережі ситуацій, показаної на рис. 3.3, на найвищому рівні розташовані вузли *Брак продукції* і *Перевищення гранично - припустимих концентрацій (ГПК) CO* (окису вуглецю). У текстове поле слід увести один з цих записів і натискувати кнопку *Створити*.

Якщо всі ситуації найвищого рівня введені в БЗ, то можна перейти до команди **Редагування ситуацій**. Вона призначена для заповнення наступних рівнів мережі ситуацій.

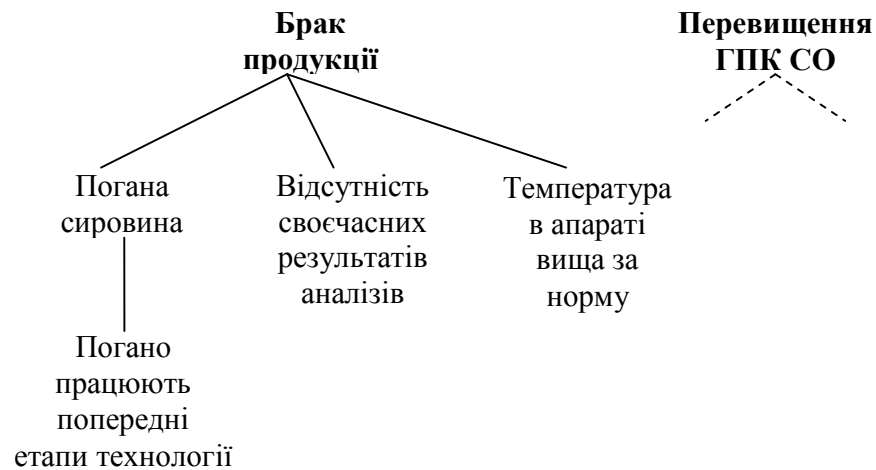


Рис. 3.3. Приклад мережі ситуацій

У результаті виконання цієї команди з'являються дві зони (див. рис.3.4): знизу – список, що розкривається (як завжди, із позначкою „V”), а під нею – велика зона зображення мережі (спочатку вона порожня). Після розкриття списку клацніть лівою кнопкою миші (ЛКМ) по вибраній ситуації найвищого рівня, і вона залишиться видимою в полі списку (у даному прикладі це **Брак продукції**).

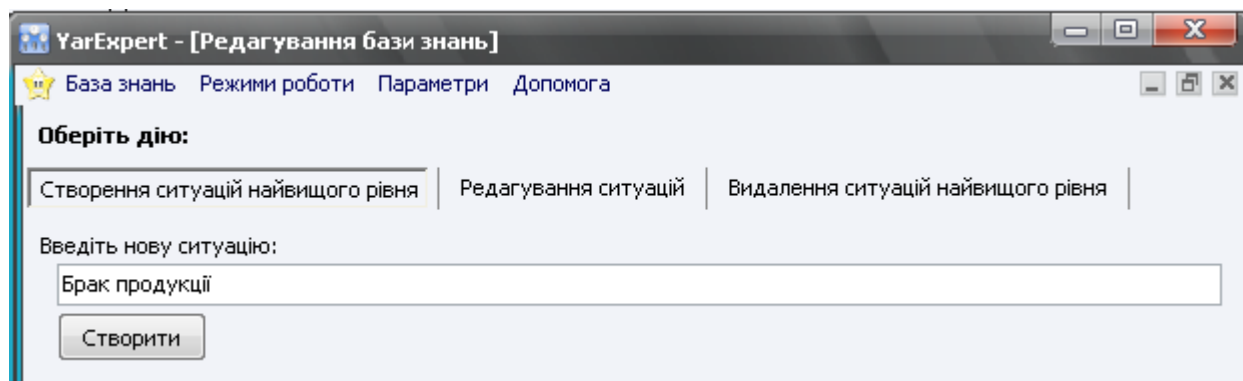


Рис.3.4. Вид вікна команди **Режими роботи**

Для створення підлеглих їй ситуацій клацніть правою кнопкою миші (ПКМ) по зоні зображення мережі, з'явиться меню з двома активними опціями: *Додати ситуацію 1-о рівня* (тобто вузол) і *Додати ситуацію рівнем нижче* (для 2-о рівня і нижче). На рис.3.5 показано це меню в зоні зображення мережі.

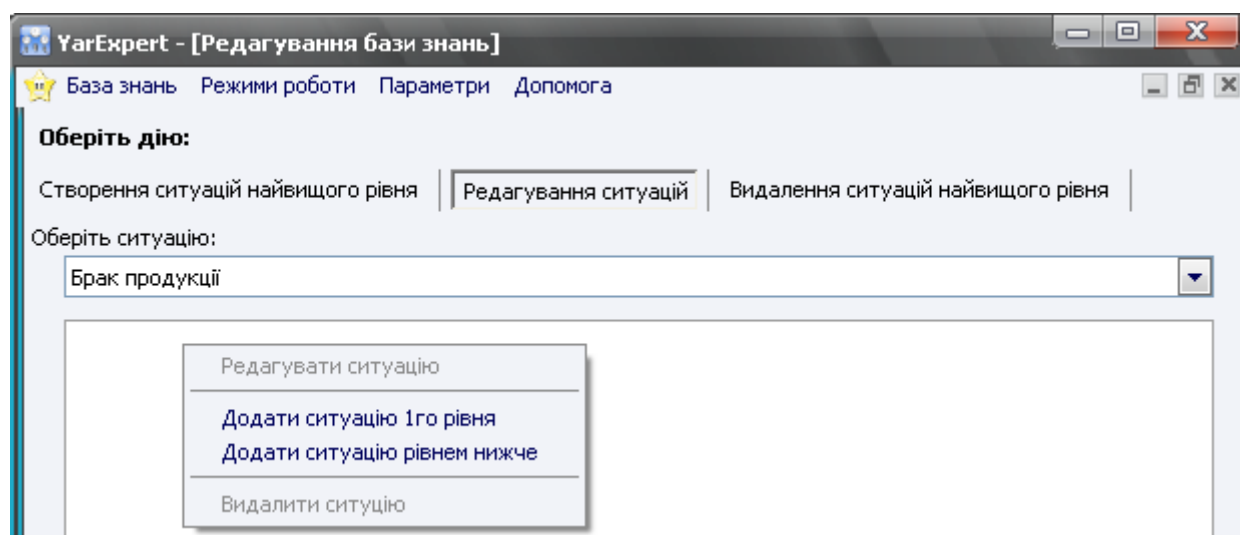


Рис. 3.5. Вікно для створення ситуацій 1–о і подальших рівнів

Вибір першої опції призводить до появи діалогового вікна *Редагування ситуацій* з трьома текстовими полями (див. рис. 3.6):

- *Ситуація* (у ньому потрібно дати назву вузла мережі);
- *Рекомендовані дії* (якщо вузол завершує ланцюжок ситуацій, то потрібно вказати, які дії слід зробити для усунення аварії; для проміжних вузлів це поле не заповнюється);
- *Ймовірність для ситуації, %* (слід вказати, з якою ймовірністю ситуація вищого рівня може викликати підпорядковану).

У результаті заповнення цих полів формуються всі вузли і зв'язки мережі ситуацій за винятком найвищого.

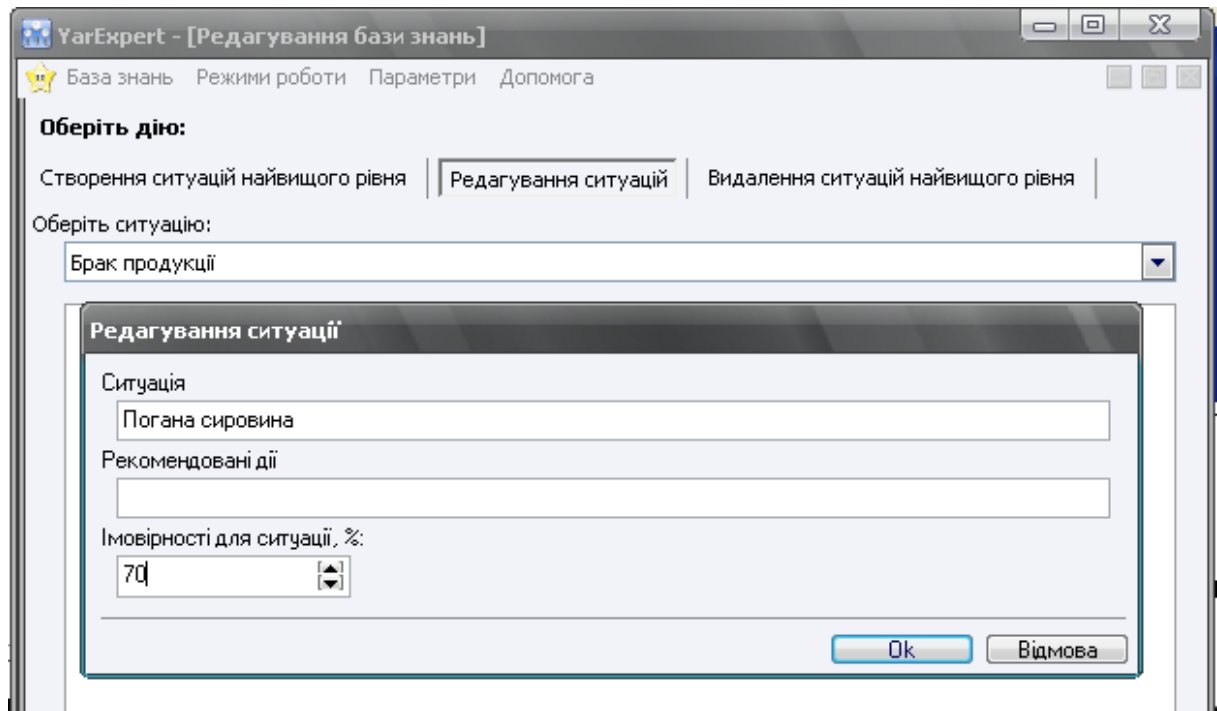


Рис. 3.6. Вікно створення і редагування ситуацій 1-о рівня

Меню зони зображення мережі з появою 1 – о і подальших рівнів розширюється – активними стають не дві опції, а всі чотири разом (див. рис. 3.7).

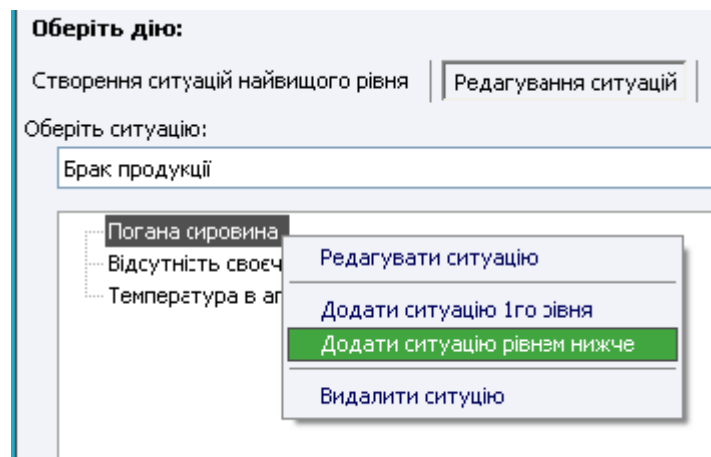


Рис. 3.7. Вікно створення і редагування ситуацій 2-о та нижчих рівнів

Якщо вузол мережі містить у собі вузли нижчого рівня, то в зоні зображення мережі він має позначку „+” по аналогії з тим, як в **Провіднику (Windows Explorer)** відзначають каталог, що має підкаталоги (див. рис. 3.8).

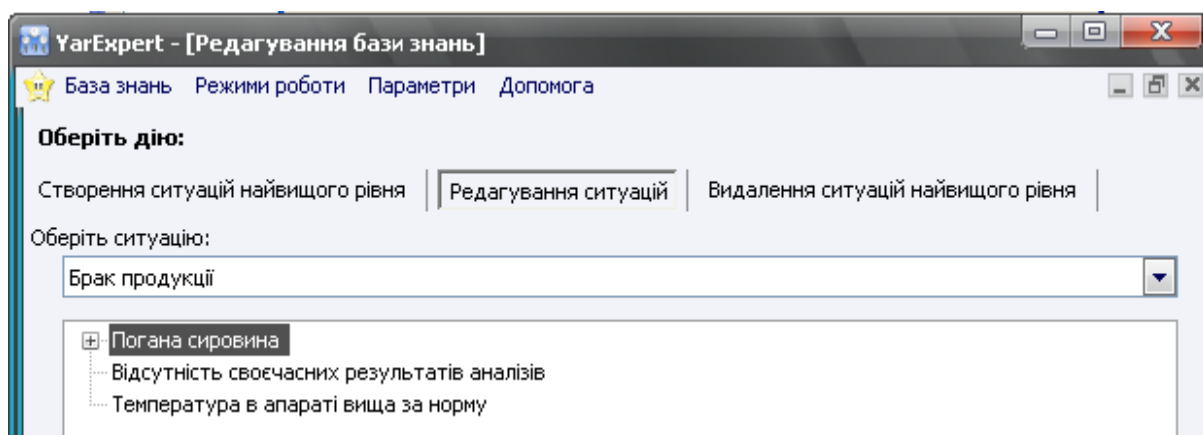


Рис. 3.8. Відображення фрагмента мережі з вузлами найвищого і 1-о рівнів

Якщо в результаті роботи з програмою були видалені певні записи, то перед її закриттям слід виконати команди меню **База знань / Оптимізувати БД бази знань**. Це приведе до дійсного видалення записів, а не тільки до втрати їх видимості на екрані.

Режим діагностування, який дозволяє визначити основну причину аварійної ситуації, що створилася, активізується командами **Режим роботи / Діагностування** (див. рис.3.2). У результаті виникає вікно, розділене на дві зони (рис.3.9). Спочатку обидві зони однакові. Надалі в лівій зоні відбиватиметься рух по мережі ситуацій, тобто поступово з’являтимуться всі вузли, задіяні в процесі роботи.

Права зона під назвою **Можливі причини аварії** є робочою. У ній треба за допомогою ЛКМ відзначати існуючу ситуацію і натискувати кнопку **Вперед**. Такі дії призводять до появи у правій зоні переліку підлеглих ситуацій, тобто ситуацій, що розташовані нижче по мережі. З ними поводяться схожим чином.

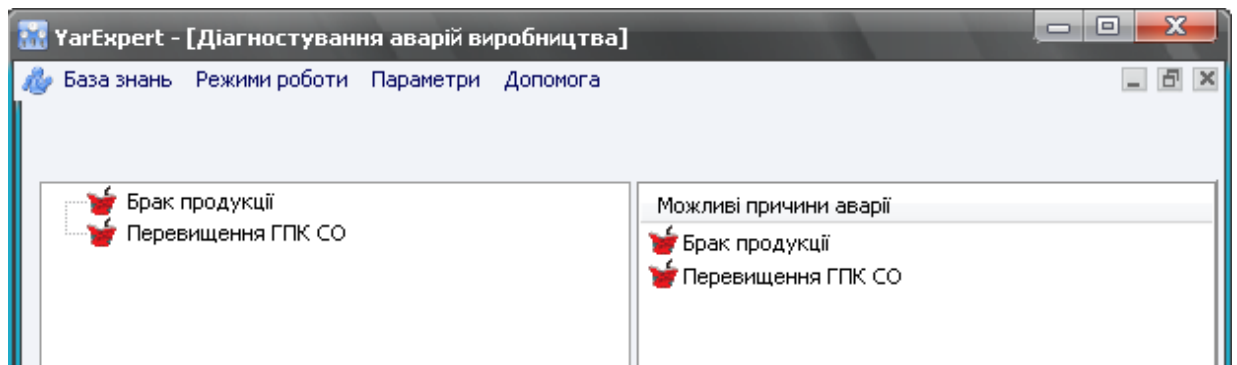


Рис. 3.9 Початок роботи в режимі *Діагностування*

Робота продовжується доти, доки не буде досягнуто кінцевого вузла на дузі мережі. Ознакою цього є поява спеціального вікна з назвою *YarExpert*. У ньому міститься наступна інформація (див. рис. 3.10):

- можлива причина аварії;
- ланцюжок міркувань, що привів до зробленого висновку;
- рекомендації по усуненню аварії;
- імовірність, з якою ситуація найвищого рівня пов'язана зі знайденою причиною аварії.

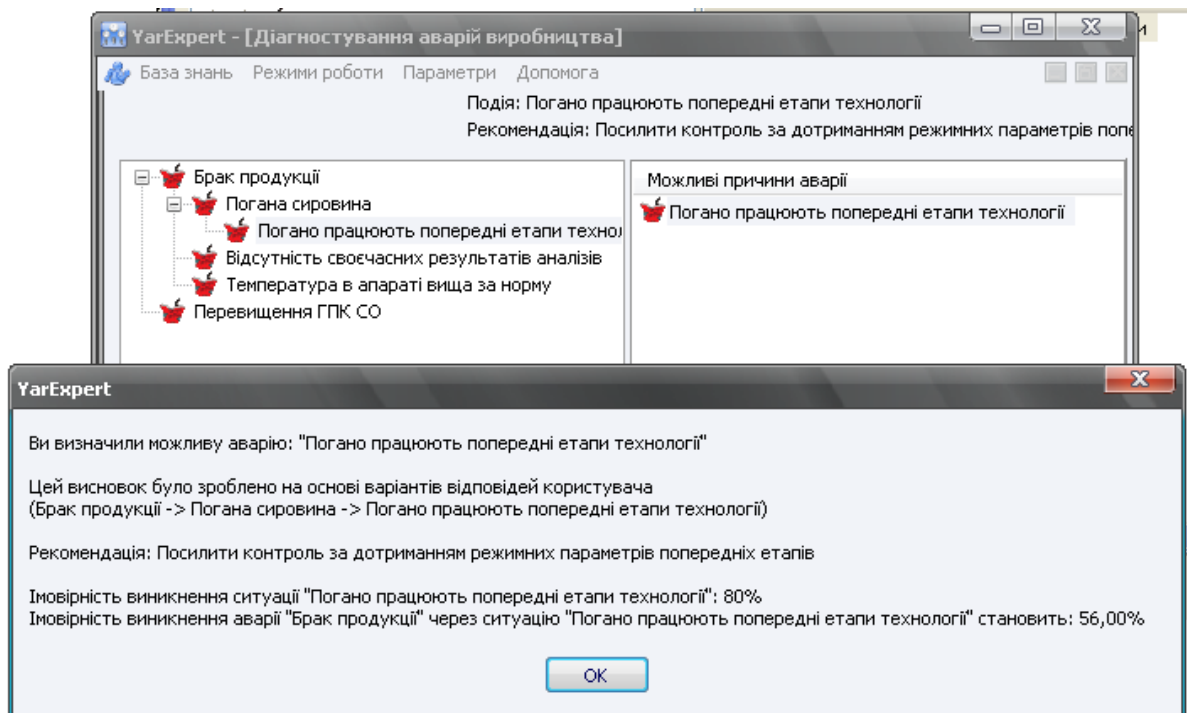


Рис.3.10. Вид вікна ЕС з результатом процесу діагностування

Процес прогнозування починається після виконання команд **Режими роботи / Прогнозування** (див. рис.3.2). У правій частині вікна з назвою **Ситуації** користувач бачить вузли всіх рівнів мережі окрім найвищого і може вибрати за допомогою ЛКМ необхідний. Активізація вузла призводить до того, що в лівій частині вікна розкривається дуга мережі, пов'язана з позначеною ситуацією (див. рис.3.11). Таким чином, користувач може побачити, до яких наслідків призведе вказана ним подія.

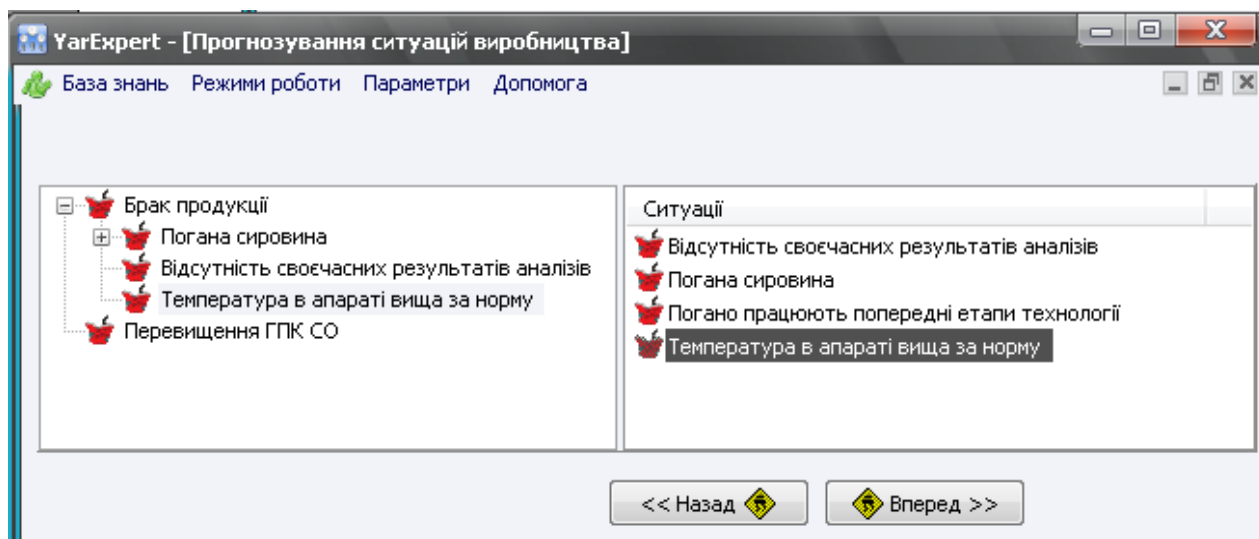


Рис.3.11. Вид вікна при прогнозуванні ситуацій

Команда головного меню **Параметри** дає можливість працювати із заставкою, змінювати пароль і переходити на іншу мову (див. рис.3.12).

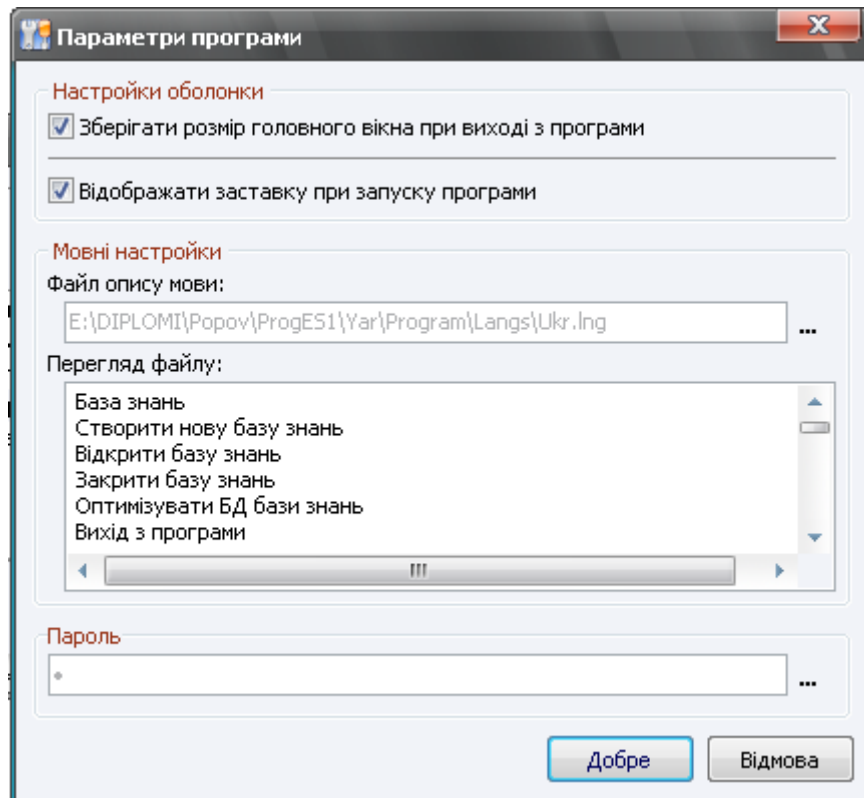


Рис.3.12. Вид вікна команди *Параметри*

Порядок виконання роботи

1. Погодити з викладачем предметну область (технологічну систему) і зміст завдання, для якого буде використано оболонку ЕС.
2. Дослідити особливості предметної області, скласти мережу аварійних ситуацій у відповідності до завдання. Мережа повинна містити не менше 3 – х вузлів вищого рівня.
3. Заповнити базу знань ЕС. Перевірити чи відповідає структура ситуацій у файлі структурі розробленої мережі.
4. Виконати процес діагностування аварійних ситуацій. Перевірити правильність роботи ЕС по мережі.
5. Виконати процес прогнозування аварійних ситуацій. Перевірити правильність роботи ЕС по мережі.

Вміст звіту

Опис предметної області, задача дослідження, мережа аварійних ситуацій і рекомендацій по їх усуненню, результати дослідження взаємозв'язків між аварійними ситуаціями.

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке оболонка ЕС?
2. Наведіть класифікацію оболонок.
3. Поясніть методику створення ЕС прогнозуючого та діагностуючого типів для системи керування технологічними процесами.
4. Визначте місце ЕС, розробленої в ході виконання лабораторної роботи, в системі керування технологічними процесами.

Лабораторна робота №4

СТВОРЕННЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА ЗАСОБАМИ МАТЕМАТИЧНОГО ПРОЦЕСОРА *MATLAB*

Мета роботи – ознайомитись із способом створенням математичних моделей об'єкта управління на базі нечіткої логіки засобами *MATLAB*, навчитися досліджувати такі моделі.

Стислі теоретичні відомості

Нечітка логіка (*Fuzzy Logic*) – це надмножина класичної булевої логіки. Вона розширює можливості останньої, дозволяючи застосовувати концепцію невизначеності в логічних висновках. Апарат нечіткої логіки теж строгий і точний, як і класичний, але разом із протилежними значеннями «хибність» та «істина» він дозволяє використовувати значення, що знаходяться між ними.

Нечітка множина (*Fuzzy Set*) є сукупністю елементів довільної природи, щодо яких не можна з повною визначеністю стверджувати, чи належить той або інший елемент сукупності певній множині чи ні. Іншими словами, не можна чітко визначити, що даний вислів є «хибністю» або «істиною» («чорним» або «білим»), оскільки множина «чорно-біле» містить усі відтінки від чорного до білого.

Функція належності (*Membership Functions*) є апаратом для символного (математичного) опису нечіткої множини. Вона показує цей перехід від «істини» до «хибності». Жодних обмежень на вибір конкретної функції належності немає.

Проте, на практиці зручно використовувати ті з них, які допускають аналітичне подання у вигляді простої математичної функції. Необхідність типізації окремих функцій належності обумовлена реалізацією відповідних функцій в інструментальних засобах, наприклад, у *MATLAB*.

Для реалізації процесу нечіткого моделювання в середовищі *MATLAB* призначений спеціальний пакет розширення *Fuzzy Logic Toolbox*. У рамках цього пакету користувач може виконувати необхідні дії по розробці і використанню нечітких моделей.

Застосуємо метод нечіткого моделювання для процесів сушіння та грануляції мінеральних добрив, які відбуваються в апараті «барабанний гранулятор – сушарка» (БГС). Для створення нечіткої моделі ознайомимося з технологічними особливостями об'єкта керування.

- Упарена пульпа збирається у збірнику з мішалкою і обігрівом, звідки прямує в апарат БГС на грануляцію і сушіння.
- Пульпа напильюється пневматичною форсункою на завісу сухого матеріалу (так званий ретур). Гранули укрупнюються, обкочуються і висушуються. Отримані гранули добре обкатані і містять 0,5-1% вологи. Сушіння здійснюється топковими газами, які подаються прямотечею до диспергованих часток при температурі на вході 450 – 500 °С, температура газів на виході 90-100 °С.
- Висушений продукт розділяють на три фракції: велику ($\varnothing > 3,2$ мм), товарну і дрібну ($\varnothing < 1$ мм). Гранули великої фракції подрібнюються в лотковій дробарці, подрібнений матеріал іде знову на розсіювання разом з основним потоком матеріалу. Гранули +3,2 мм з верхнього сита подаються на валкову дробарку, а потім знову на розсіювання.
- Готовий продукт з нижнього сита йде на охолодження, а потім на склад: фракції діаметром меншим за 1 мм повертаються в БГС як ретур.

Задача полягає в тому, щоб розробити систему управління процесом гранулоутворення, яка б ґрунтувалася на нечіткому моделюванні, враховуючи досвід спеціалістів з керування БГС.

На перебіг процесів сушіння та гранулоутворення безпосередньо впливає щільність завіси ретуру перед форсункою, а також концентрація дрібної фракції на виході апарату БГС, вплив якої буде відчутно через певний час. Кваліфіковані експерти співставляють ці дві змінні для нанесення керувального впливу.

Керувальною змінною у системі керування визначено тиск повітря у пневматичній форсунці.

З огляду на це факторами моделі визначимо 2 нечіткі **лінгвістичні змінні**: *«концентрація дрібної фракції на виході апарату»* і *«завіса»*, а як вихідну змінну — нечітку **лінгвістичну змінну** *«тиск повітря пневмофорсунки»* (далі *«тиск»*).

За **Терм - множину** першої лінгвістичної змінної *«концентрація дрібної фракції»* візьмемо множину $T1 = \{ \text{«Занадто мало»}, \text{«Мало»}, \text{«Нормально»}, \text{«Багато»}, \text{«Занадто багато»} \}$, а за терм - множину другої лінгвістичної змінної *«завіса»* використаємо множину $T2 = \{ \text{«рідка»}, \text{«нормальна»}, \text{«щільна»} \}$. За терм - множину вихідної лінгвістичної змінної *«тиск»* візьмемо множину $T3 = \{ \text{«Дуже малий»}, \text{«Малий»}, \text{«Зменшений»}, \text{«Нормальний»}, \text{«Збільшений»}, \text{«Великий»}, \text{«Дуже великий»} \}$. При цьому терм першої вхідної змінної (*концентрація дрібної фракції*) оцінюватимемо по 20 - процентній шкалі, при якій цифрі 0 відповідає якнайменша концентрація дрібної фракції на виході БГС, а цифрі 20 – найбільша концентрація дрібної фракції на виході БГС. Терм другої вхідної змінної (*«завіса»*) оцінюватимемо за 10 - бальною шкалою, при якій цифрі 0 відповідає якнайменша щільність завіси в БГС, а цифрі 10 — найбільша. Що стосується терма вихідної змінної *«тиск»*, то її шкала буде проградуйована в МПа від 0,3 до 0,6 МПа в порядку зростання.

Порядок виконання роботи

Процес розробки системи і моделі нечіткого висновку в інтерактивному режимі для розглянутого вище прикладу «*Барабанний гранулятор – сушарка*» полягає у виконанні наступної послідовності дій.

1. Викликати редактор системи нечіткого висновку *FIS*, для чого у вікні команд набрати ім'я відповідної функції *fuzzy*. Після виконання цієї команди на екрані з'явиться графічний інтерфейс редактора *FIS* з ім'ям системи нечіткого висновку *Untitled* і типом системи нечіткого висновку (Мамдані), запропонованим за умовчанням.

2. Оскільки в прикладі 1 розглянуто систему нечіткого висновку з двома входами, то необхідно додати в систему *FIS*, що розробляється, ще одну вхідну змінну. Для цього слід виконати команду меню *Edit>Add Variable... >Input*. У результаті виконання цієї команди на діаграмі системи нечіткого висновку з'явиться новий жовтий прямокутник з ім'ям другої вхідної змінної: *input2*. (див рис. 4.1)

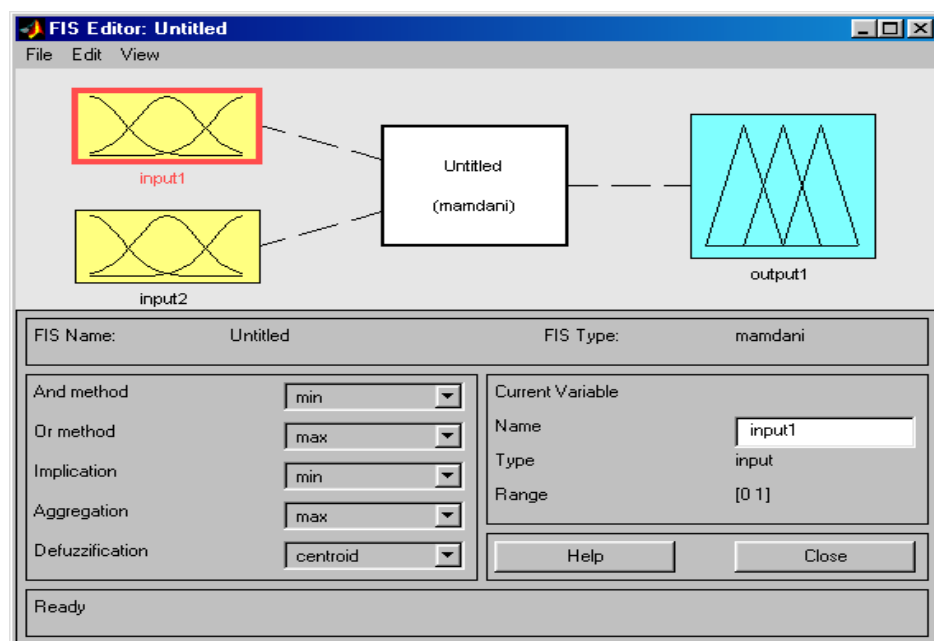


Рис. 4.1. Вид редактора *FIS* після додавання другої вхідної змінної

3. Змінимо імена вхідних і вихідних змінних, запропонованих системою *MATLAB* за умовчанням. Для цього необхідно виділити прямокутник з ім'ям відповідної змінної, виконавши клацання на його зображенні на діаграмі (сторони виділеного прямокутника мають червоний колір). Після цього слід набрати нове ім'я змінної в полі введення *Name* у правій частині редактора *FIS*. Результат надання нових імен змінним системи нечіткого висновку зображений на рис. 4.2.

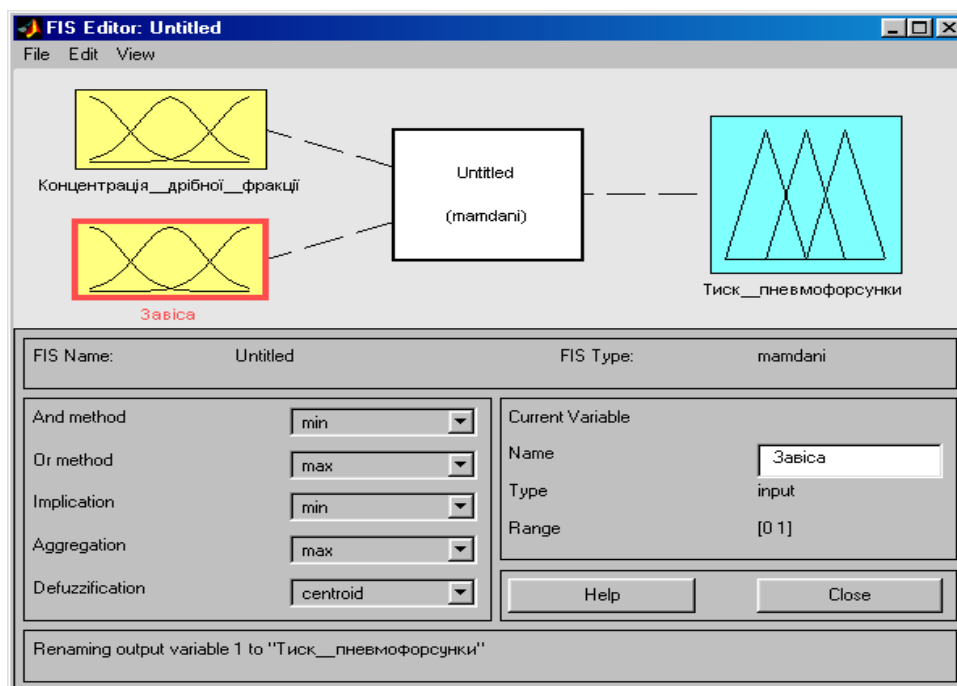


Рис.4.2. Вид редактора FIS після надання нових імен змінним

Змінимо ім'я системи нечіткого висновку (*Untitled*), запропоноване за умовчанням. Для цього збережемо створену структуру *FIS* в зовнішньому файлі з ім'ям *mytip.fis*, виконавши команду меню *File>Export>To Disk....* При цьому буде викликано стандартне діалогове вікно збереження файлу, в якому користувачу пропонують ввести ім'я відповідного файлу (розширення файлу приписується автоматично).

Залишимо без зміни запропоновані системою *MATLAB* за умовчанням: метод нечіткого логічного **І** (*And method*) — значення «*min*», метод нечіткого логічного **АБО** (*Or method*) — значення «*max*», метод імплікації (*Implication*) — значення «*min*», метод агрегації (*Aggregation*) — значення «*max*» і метод дефаззифікації (*Defuzzification*) — значення «*centroid*». Очевидно, що ці значення можуть бути змінені користувачем.

4. Тепер необхідно визначити терми і їх функції належності для вхідних і вихідних змінних нашої системи нечіткого висновку. Для цієї мети слід скористатися редактором функцій належності, який може бути викликаний одним з наступних способів:

- подвійним клацанням ЛКМ на значку прямокутника з ім'ям відповідної змінної;
- командою меню *Edit>Membership Functions...* (заздалегідь повинен бути виділений прямокутник з ім'ям відповідної змінної).

Після виклику редактора функцій належності кожної із змінних за умовчанням пропонується 3 терми з трикутними функції належності (рис.4.3).

Спочатку змінимо діапазон значень вхідних змінних, для чого в полях введення ***Range*** і ***Display Range*** змінимо верхнє значення з 1 на 20 (відсотків). Аналогічно виконуються зміни відповідних діапазонів для вхідної змінної «*завіса*» [0 10] і для вихідної змінної «*тиск пневмофорсунки*» [0.3 0.6]. Зміни підтверджуються натисканням на клавішу ***Enter*** на клавіатурі.

Оскільки для вибраної задачі необхідно 5 термів, а система *MATLAB* пропонує за умовчанням тільки 3. Командою меню *Edit>Remove All MFs* видаляємо запропоновані терми. Командою меню *Edit>Add MFs...* створюємо 5 нових термів. (рис. 4.4).

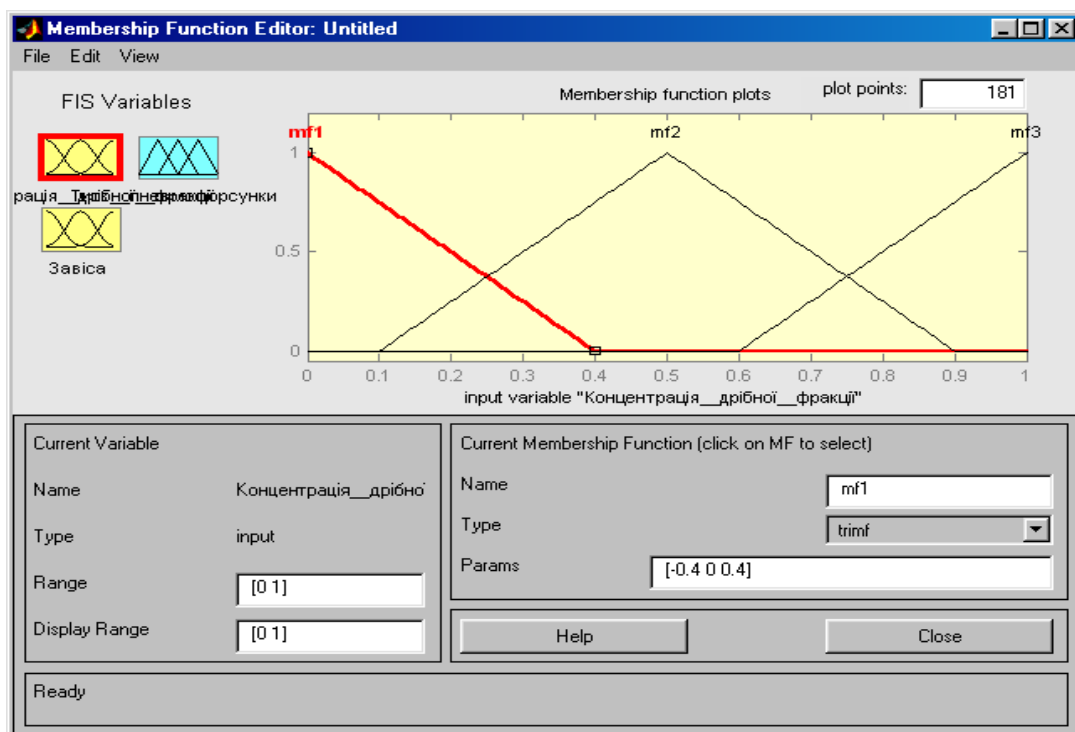


Рис.4.3. Вигляд редактора функцій належності після його виклику, з функціями належності для термів змінної «Концентрація дрібної фракції», запропонованих системою *MATLAB* за умовчанням

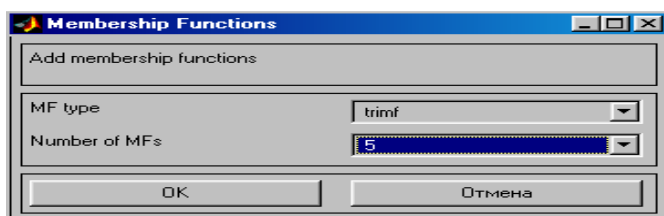


Рис.4.4. Вигляд вікна створення необхідної кількості термів

Далі змінимо назви термів першої вхідної змінної «Концентрація дрібної фракції», створених нами (*mf1*, *mf2*, *mf3*, *mf4*, *mf5*) на «Занадто мало», «Мало», «Нормально», «Багато», «Занадто багато» відповідно. Після чого змінимо тип крайніх функцій належності, запропонованих за умовчанням, на трапецієвидні функції (*trapmf*), вибравши відповідний пункт в полі **Type**.

Параметри функцій задамо таким чином: для терма «Занадто мало» задамо параметри [0 0 2 6], для терма «Мало» – [2 6 10], для терма «Нормально» – [6 10 14], для терма «Багато» – [10 14 18], для терма «Занадто багато» – [14 18 20 20]. Вигляд редактора функцій належності після внесених змін зображений на рис.4.5.

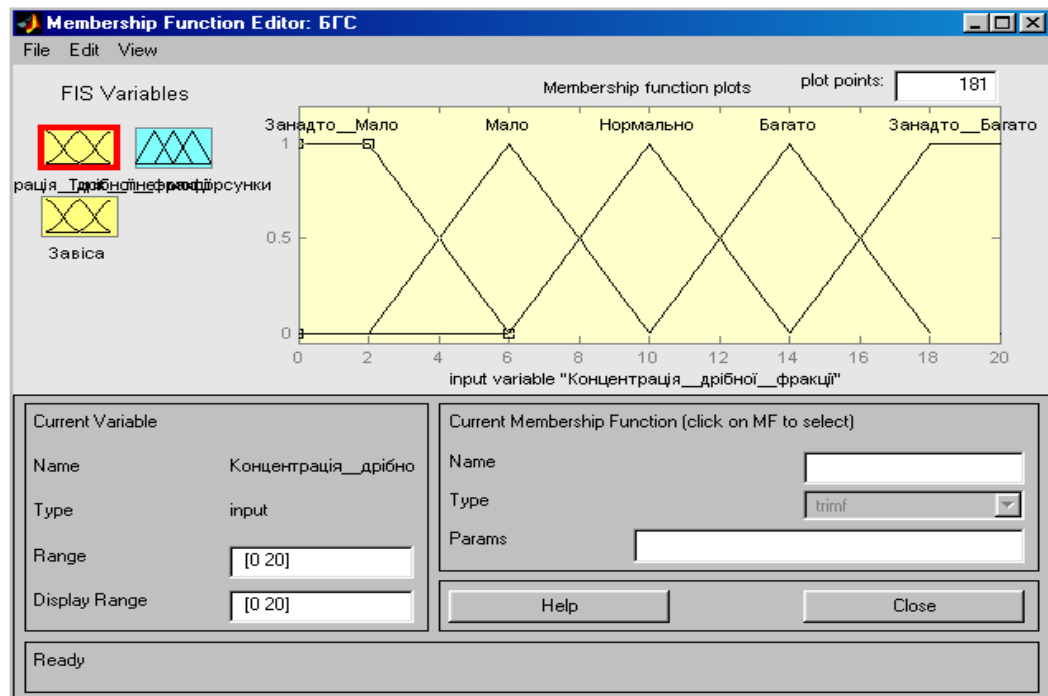


Рис.4.5. Вигляд редактора функцій належності після зміни назви термів і типу функцій належності для першої вхідної змінної «Концентрація дрібної фракції»

Аналогічним чином змінимо назви термів другої вхідної змінної «Завіса». Після чого змінимо, запропонований за умовчанням, тип функцій належності на функції типу Гауса (*gaussmf*), вибравши відповідний пункт в полі **Type**. Параметри функцій належності залишимо без змін. За термножину другої лінгвістичної змінної «Завіса» використано «Рідка», «Нормальна», «Щільна». Вигляд редактора функцій належності після внесених змін зображений на рис. 4.6.

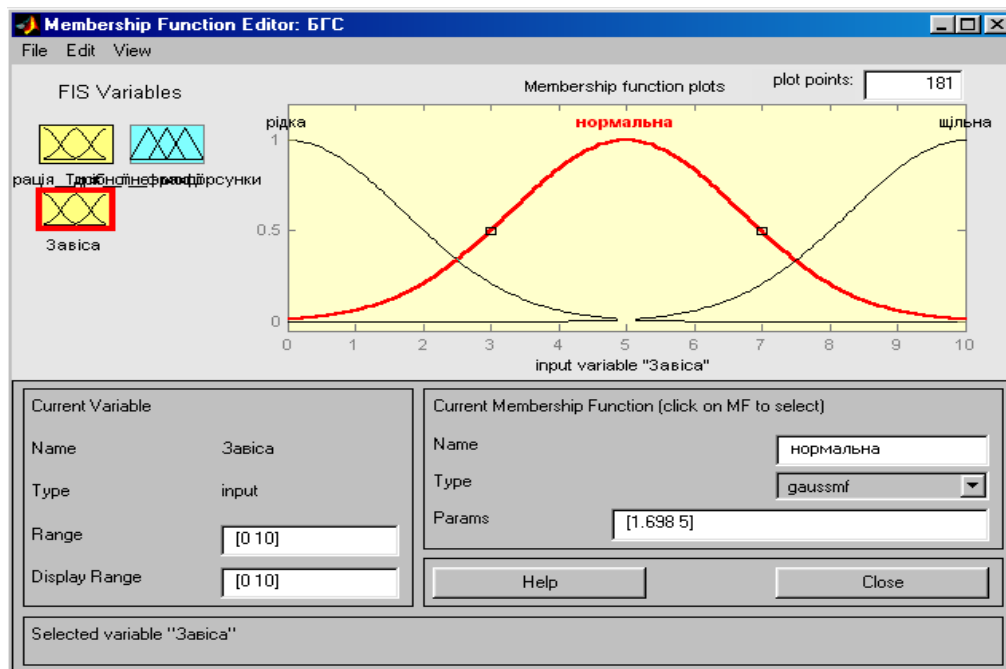


Рис.4.6. Вигляд редактора функцій належності після зміни назви термів і типу їх функцій належності для другої вхідної змінної «Зависа»

Нарешті, змінимо назви термів і параметри функцій належності для вихідної змінної «Тиск пневмофорсунки». Нам необхідні 7 термів, а система *MATLAB* пропонує за умовчанням тільки 3. Командою меню **Edit>Remove All MFs** видаляємо запропоновані терми. Командою меню **Edit>Add MFs** створюємо 7 нових термів. Далі змінимо назви термів вихідної змінної «Тиск пневмофорсунки», створених нами (*mf1*, *mf2*, *mf3*, *mf4*, *mf5*, *mf6*, *mf7*) на «Дуже малий», «Малий», «Зменшений», «Нормальний», «Збільшений», «Великий», «Дуже великий» відповідно. Після чого змінимо тип крайніх функцій належності, запропонованих за умовчанням, на трапецієвидні функції (*trapmf*), вибравши відповідний пункт в полі **Type**. Параметри функцій задамо таким чином: для терма «Дуже малий» задамо параметри [0.3 0.3 0.3283 0.3667], для терма «Малий» – [0.3283 0.3667 0.4083], для терма «Зменшений» – [0.3667 0.4083 0.45], для терма «Нормальний» – [0.4083 0.45 0.4917],

для терма «Збільшений» – $[0.45 \ 0.4917 \ 0.5333]$, для терма «Великий» – $[0.4917 \ 0.5333 \ 0.5716]$, для терма «Дуже великий» – $[0.5333 \ 0.5716 \ 0.6]$. Вид редактора функцій належності після внесених змін зображений на рис. 4.7.

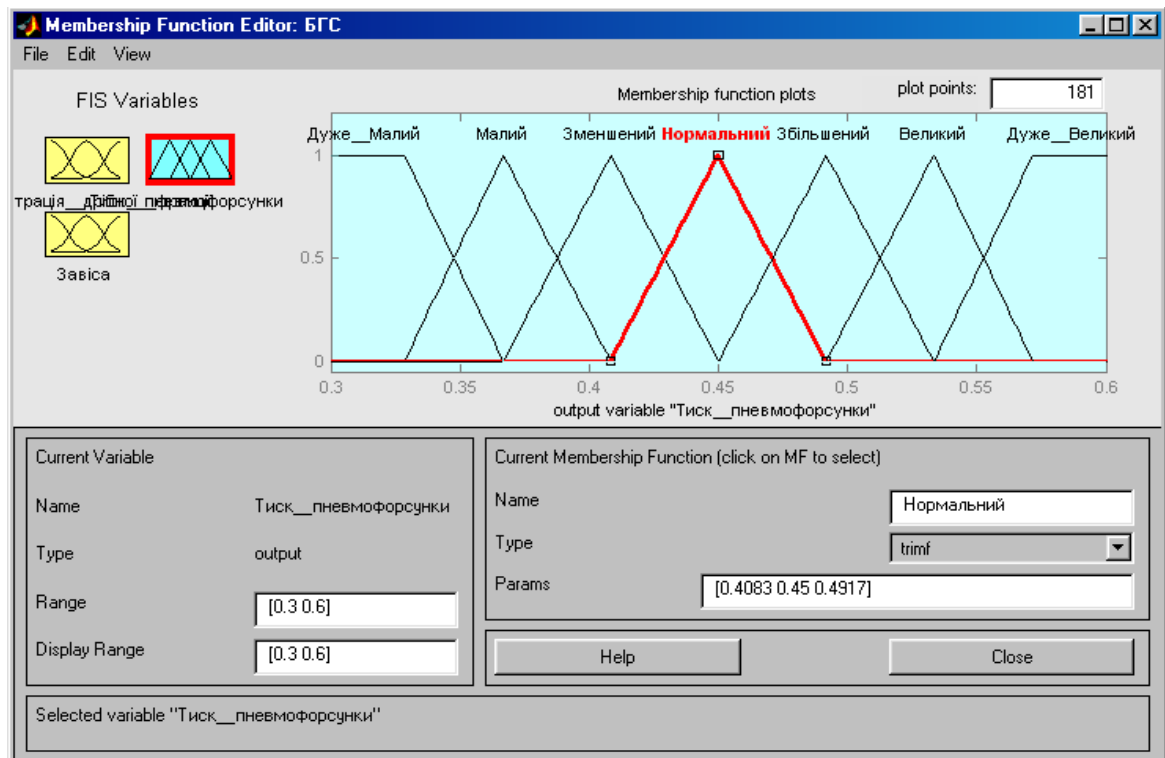


Рис.4.7. Вигляд редактора функцій належності після зміни назви термів і типу функцій належності для другої вихідної змінної «Тиск пневмофорсунки»

Порядок виконання роботи

1. Створити модель процесу гранулоутворення мінеральних добрив у барабанному грануляторі - сушарці за методикою, описаною в роботі.
2. Розробити математичну модель на базі нечіткого моделювання для власного технологічного об'єкта керування, узгодженого з викладачем.
3. Дослідити типи функцій належності, які надає пакет, і способи їх математичного подання.

Вміст звіту

Структурно – параметрична схема для власного об'єкта керування. Опис лінгвістичних змінних, які використані у моделі процесу, вікна редактора *MATLAB* із зображеннями та характеристиками функцій належності.

Контрольні запитання

1. Як описати лінгвістичну змінну?
2. Які існують види функцій належності?
3. Як додати вхідну змінну в редакторі пакету *Fuzzy Logic*?
4. Як надати лінгвістичній змінній певне ім'я?
5. Як задати терми і функції належності лінгвістичної змінної?
6. Як змінити кількість термів?
7. Як змінити тип функції належності?
8. Як задати потрібний діапазон значень лінгвістичної змінної?

СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Мета роботи – навчитися створювати системи керування в умовах нечіткої інформації, реалізовувати і досліджувати їх засобами *MATLAB*.

Стислі теоретичні відомості

База правил систем нечіткого висновку призначена для формального представлення емпіричних знань або знань експертів у тій або іншій проблемній області. У системах нечіткого висновку використовують правила нечітких продукцій, в яких умови і висновки сформульовані в термінах нечітких лінгвістичних висловів. Сукупність таких правил далі називатимемо базами правил нечітких продукцій.

База правил нечітких продукцій є кінцевою множиною правил нечітких продукцій, узгоджених відносно лінгвістичних змінних, що використовуються в них. Найчастіше базу правил подають у наступній формі структурованого тексту:

ПРАВИЛО_1: ЯКЩО «Умова_1» **ТО** «Висновок_1» (F_1)
ПРАВИЛО_2: ЯКЩО «Умова_2» **ТО** «Висновок_2» (F_2)
...
ПРАВИЛО_n: ЯКЩО «Умова_n» **ТО** «Висновок_n» (F_n)

або в еквівалентній формі у *MATLAB*:

RULE_1: IF Condition_1 **THEN** Conclusion_1 (F_1)
RULE_2: IF Condition_2 **THEN** Conclusion_2 (F_2)
...
RULE_n: IF Condition_n **THEN** Conclusion_n (F_n)

Тут через F_i ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$) позначені коефіцієнти визначеності або вагові коефіцієнти відповідних правил. Ці коефіцієнти можуть приймати значення з інтервалу $[0,1]$. У випадку, якщо ці вагові коефіцієнти відсутні, зручно прийняти, що їх значення дорівнюють 1.

У системах нечіткого висновку лінгвістичні змінні, які використовуються в нечітких висловах підумов правил нечітких продукцій, часто називають *вхідними лінгвістичними змінними*, а змінні, які використовуються в нечітких висловах підвисновків правил нечітких продукцій, часто називають *вихідними лінгвістичними змінними*.

Таким чином, при формуванні бази правил необхідно визначити множину правил нечітких продукцій: $P = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$, множину вхідних лінгвістичних змінних: $V = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$, множину вихідних лінгвістичних змінних: $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$. Тим самим база правил нечітких продукцій вважається заданою, якщо задані множини P, V, W .

Нагадаємо, що вхідна $\beta_i \in V$ або вихідна $\omega_i \in W$ лінгвістична змінна вважається заданою або визначеною, якщо для неї визначена базова термножина з відповідними функціями належності кожного терма, а також дві процедури. Найпоширенішим випадком є використання як функції належності термів трикутних або трапецієвидних функцій належності, розглянутих вище. При цьому для зручності запису застосовують спеціальні скорочення для найменувань окремих термів вхідних і вихідних лінгвістичних змінних.

Для формування бази правил в інтерактивному режимі в системі *MATLAB* слід скористатися редактором правил, який може бути викликаний одним з наступних способів:

– подвійним клацанням на значку квадрата в центрі з ім'ям створеної системи нечіткого висновку (*myfis*);

– командою меню **Edit > Rules**.

Оскільки спочатку база правил нечіткого висновку порожня, то після виклику редактора правил центральне багаторядкове поле введення не містить жодних правил. Для їх визначення слід використовувати поля меню і перемикачі в нижній частині графічного інтерфейсу редактора правил. Для задання першого правила слід задати у полі першої вхідної змінної (*Концентрація дрібної фракції*) терм «нормальна», для другої вхідної змінної (*Завіса*) теж терм «нормальна», для вихідної змінної (Тиск) – «нормальний». Далі слід перемикач **Connection** поставити в положення **and** (логічне І) і натискати на кнопку **Add rule**. Після цього перше правило з символами кирилиці відобразиться у верхньому рядку вікна.

Таким же чином задають друге правило, для якого слід виділити імена термів відповідно «мала», «нормальна» і «збільшений», і третє правило з іменами термів «велика», «нормальна» і «збільшений» і так далі як показано на рис.5.1. Вигляд редактора правил після їх визначення для експертної системи, що розробляється, зображений на рис.5.2.

Треба зауважити, що в полі введення **Weight** відображається вага кожного правила, яку можна змінювати в межах інтервалу [0, 1] (залишимо без зміни його значення за умовчанням, яке дорівнює 1 для всіх правил). Ця ж вага правил записується в круглих дужках у вікні правил після кожного з правил нечіткого висновку.

Після завдання правил нечіткого висновку виявляється можливим отримати результат нечіткого висновку (значення вихідної змінної) для конкретних значень вхідних змінних. З цією метою необхідно відкрити програму перегляду правил командою меню **View > Rules**.

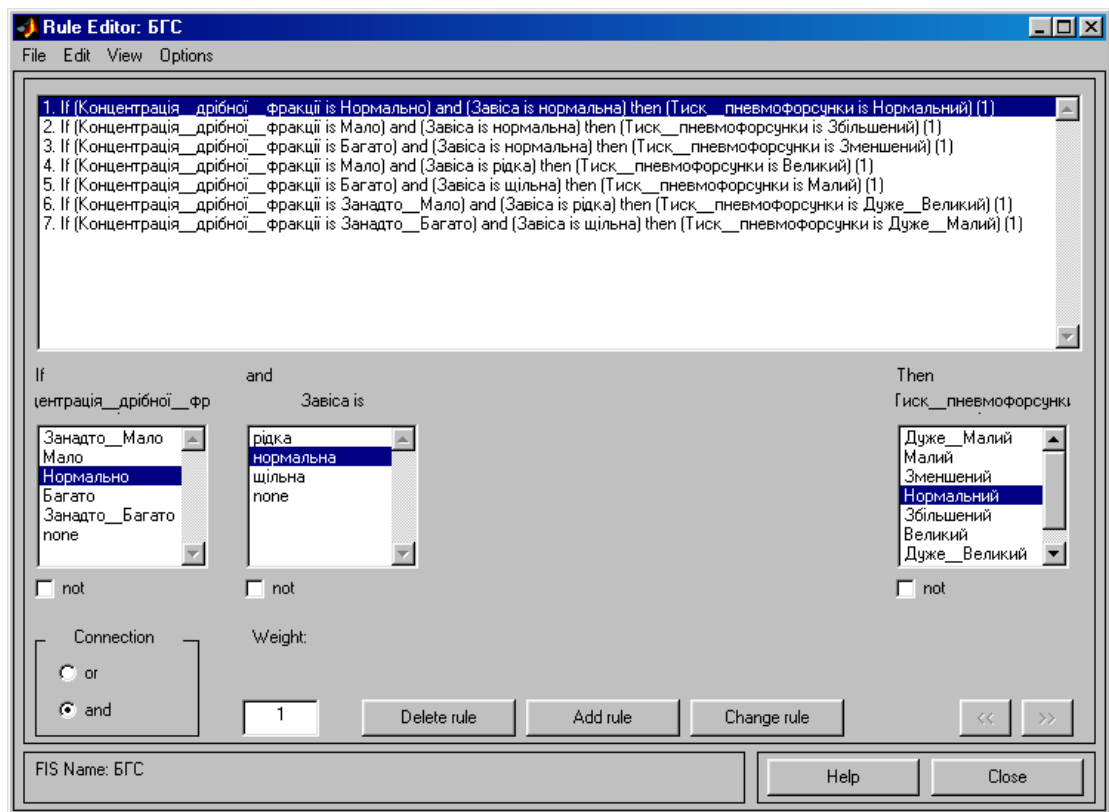


Рис.5.1. Вигляд редактора правил нечіткого висновку після їх визначення

Після виклику програми перегляду правил для нашої системи нечіткого висновку за умовчанням для вхідних змінних запропоновані середні значення з інтервалу їх допустимих значень (значення [10 5] в полі введення **Input**). Це означає, що концентрація дрібної фракції оцінюється експертом як нормальна і щільність завіси теж нормальна. Цим значенням вхідних змінних відповідає значення тиску пневмофорсунки в 0,45 МПа, яке відображається вище за прямокутники правил в правій частині вікна програми перегляду.

Змінимо значення вхідних змінних для іншого випадку, якому відповідає концентрація фракції в 6 балів (мало дрібній фракції) і густину завіси в 5 балів (нормальна).

Для цього курсор миші перемістимо в полі введення *Input* і введемо відповідні значення вхідних змінних: [6 5]. Система *MATLAB* виведе значення тиску пневмофорсунки 0,492 МПа.

Оскільки процес нечіткого моделювання припускає аналіз результатів нечіткого висновку при різних значеннях вхідних змінних з метою встановлення адекватності розробленої нечіткої моделі, розглянемо й інші випадки. Припустимо, що концентрація дрібної фракції оцінюється в 14 балів (багато дрібної фракції), а щільність зависі — в 7 балів (густа, але не дуже). Уведемо відповідні значення змінних. Тепер розроблена система нечіткого висновку рекомендує значення тиску пневмофорсунки, що дорівнює 0,397 МПа.

Якщо ж припустити, що дрібної фракції як і раніше багато (14 балів), а щільність зависі стала нормальною і оцінюється в 5 балів, то величина тиску пневмофорсунки істотно зміниться і дорівнюватиме 0,408 МПа.

Якщо експертам така система видасться неадекватною, то можна змінити існуючі правила або додати нові, а також змінити параметри функцій належності вхідних і вихідних змінних.

Для остаточного аналізу розробленої нечіткої моделі може виявитися корисною програма перегляду поверхні нечіткого висновку, яка може бути викликана командою меню *View > Surface* редактора *FIS*.

Графічний інтерфейс програми проглядання поверхні нечіткого висновку для розробленої нечіткої моделі зображений на рис.5.3.

Ця програма використовується для загального аналізу адекватності нечіткої моделі, дозволяючи оцінити вплив зміни значень вхідних нечітких змінних на значення однієї з вихідних нечітких змінних. У разі потреби можна отримати графік залежності вихідної змінної від однієї з вхідних змінних. Для цього необхідно вибрати потрібну змінну в списку, що розкривається, *X (input)*, а в списку, що розкривається, *Y (input)* вибрати значення *-none-*.

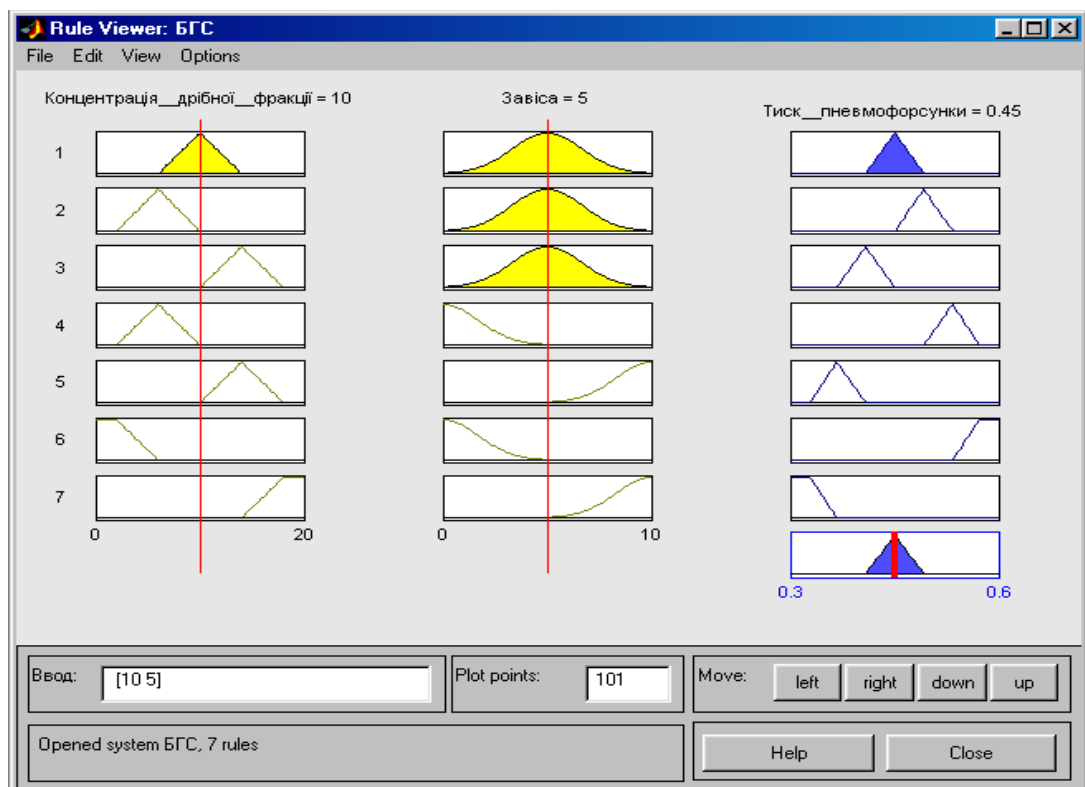


Рис.5.2. Вигляд програми перегляду правил нечіткого висновку для значень вхідних змінних [10 5]

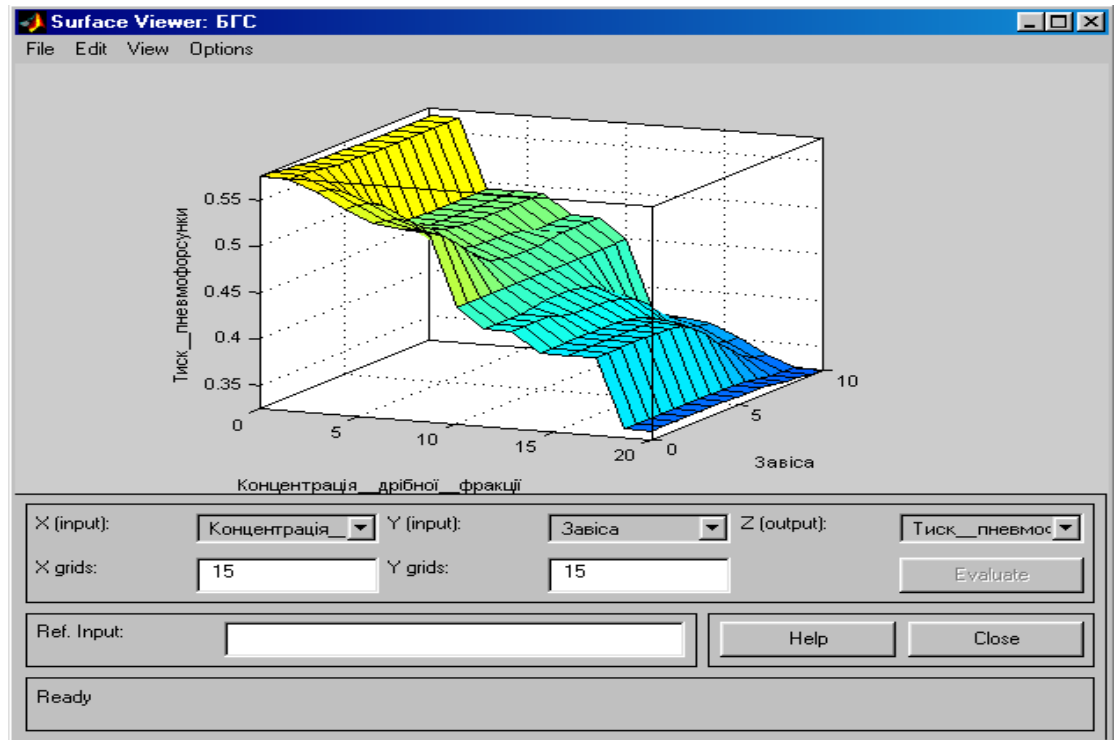


Рис.5.3. Вигляд програми перегляду поверхні нечіткого висновку для розробленої нечіткої моделі

На формування бази правил систем нечіткого висновку часто впливають деякі додаткові чинники, які визначаються специфікою вирішуваної задачі або алгоритму нечіткого висновку, що використовується. В основному ж для формування бази правил систем нечіткого висновку необхідно заздалегідь визначити вхідні і вихідні лінгвістичні змінні об'єкту керування, а також їх зв'язки і ступені впливу вхідних змінних на вихідні.

Порядок виконання роботи

1. Узгодити з викладачем технологічний об'єкт керування.
2. Виділити основні вхідні і вихідні змінні.
3. Сформулювати відповідні лінгвістичні змінні.
4. Розробити систему керування об'єктом.
5. Розробити правила для нечіткої системи керування продукції.
6. Використати засоби *MATLAB* для створення нечіткої системи керування.
7. Дослідити вплив на значення керувальної змінної функцій належності вхідних змінних.

Вміст звіту

Структурна схема об'єкту. Функції належності. База правил нечіткої продукції. Документи *MATLAB*.

Контрольні запитання та завдання

1. Як задати правила нечіткого висновку у системі *MATLAB*?
2. Як проглянути задані правила?
3. Пояснити зображення поверхні нечіткого висновку для розробленої нечіткої моделі та бази правил.
4. Як визначити значення керувального впливу при заданих значеннях вхідних змінних?

Лабораторна робота №6

СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗАСОБАМИ *MATLAB* + *SIMULINK*

Мета роботи – навчитися створювати та досліджувати нечіткі системи керування технологічними об'єктами засобами *MATLAB* + *SIMULINK*.

Стислі теоретичні відомості

Пакет *Simulink* – є ядром інтерактивного програмного комплексу, призначеного для математичного моделювання систем та пристроїв, поданих своєю функціональною блок – схемою (так звана *S - модель* або просто *модель*).

Програмний засіб *Simulink* належить до візуально – орієнтованих мов програмування. Це означає, що на всіх етапах моделювання користувач практично не виконує традиційного програмування. Моделювання в *Simulink* полягає у складанні схем з функціональних блоків. При цьому автоматично генерується програма в кодах в залежності від складу вибраних блоків, їх з'єднань і параметрів.

Для формування моделі в середовищі *Simulink* треба відкрити вікно моделі. Це виконують командами ***File*→*New*→*Model*** (Файл→Новий→Модель), за допомогою піктограми на панелі інструментів ***New Model*** (Нова модель) чи «гарячими» клавішами **<Ctrl + N>**. На рис. 6.1 наведено вікно моделі *Simulink*.

Вікно моделі з'являється також при завантаженні існуючої моделі ***File*→*Open...*** (Файл→Відкрити...), за допомогою піктограми на панелі

інструментів *Open model or library* (Відкрити модель чи бібліотеку) чи «гарячими» клавішами <Ctrl+O>.

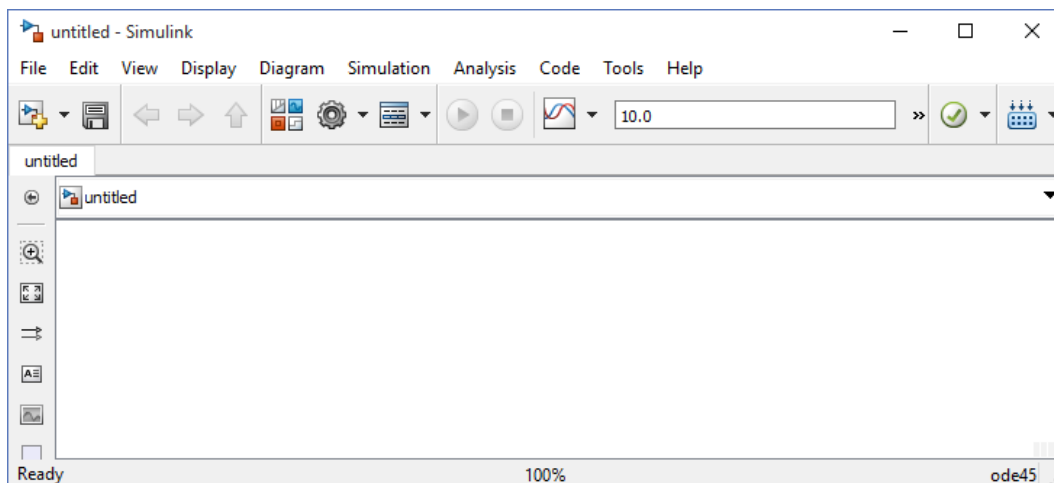


Рис. 6.1. Вікно моделі *Simulink*

Для розташування блоків у вікні моделі треба відкрити відповідний розділ бібліотеки – *Fuzzy Logic Toolbox* (рис. 6.2).

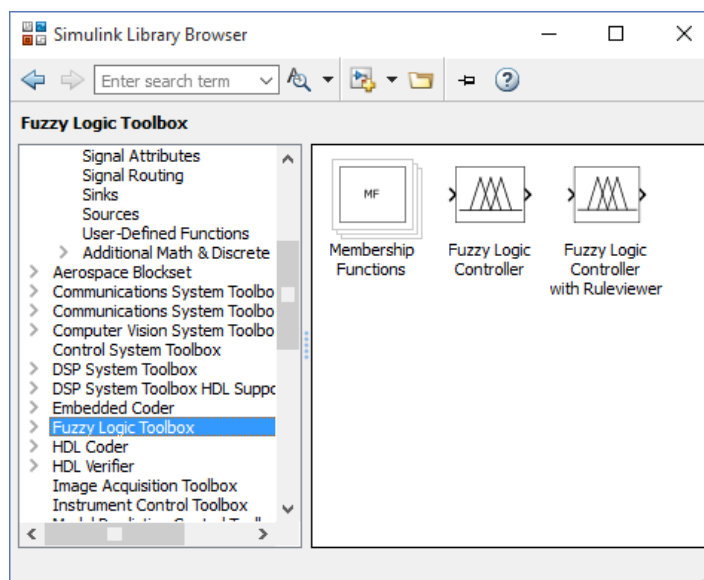


Рис. 6.2. Вікно розділу *Fuzzy Logic Toolbox* з блоками

Крім блоків цього розділу для створення моделі системи керування і її дослідження треба використати наступні розділи: *Continuous* – для моделювання каналів впливу (рис. 6.3), *Sinks* – для моделювання

вимірювальних пристроїв (рис. 6.4), *Sources* – для моделювання вхідних сигналів (рис. 6.5).

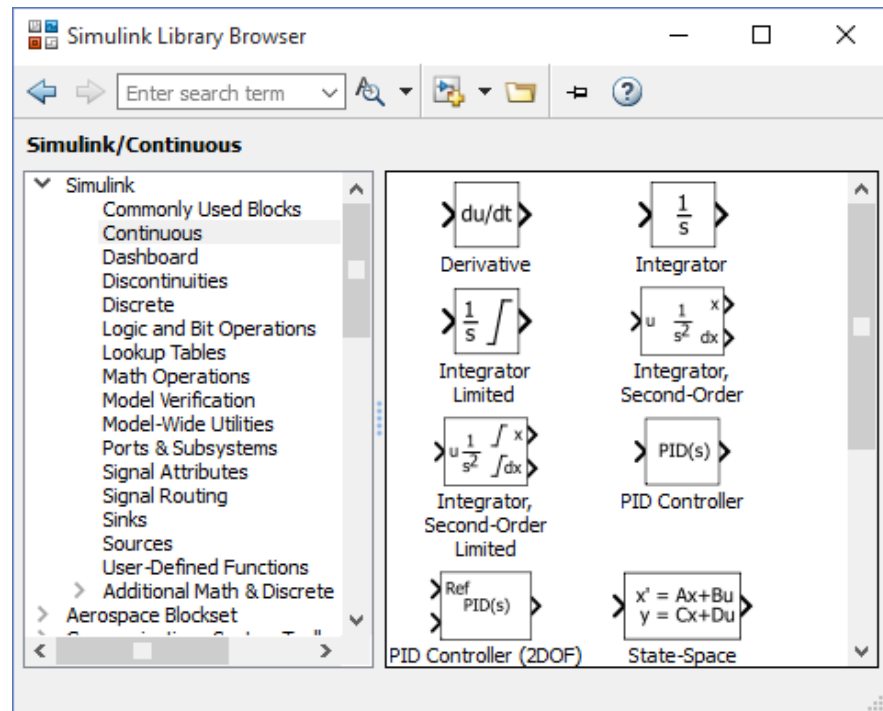


Рис. 6.3. Вікно розділу *Continuous* з блоками

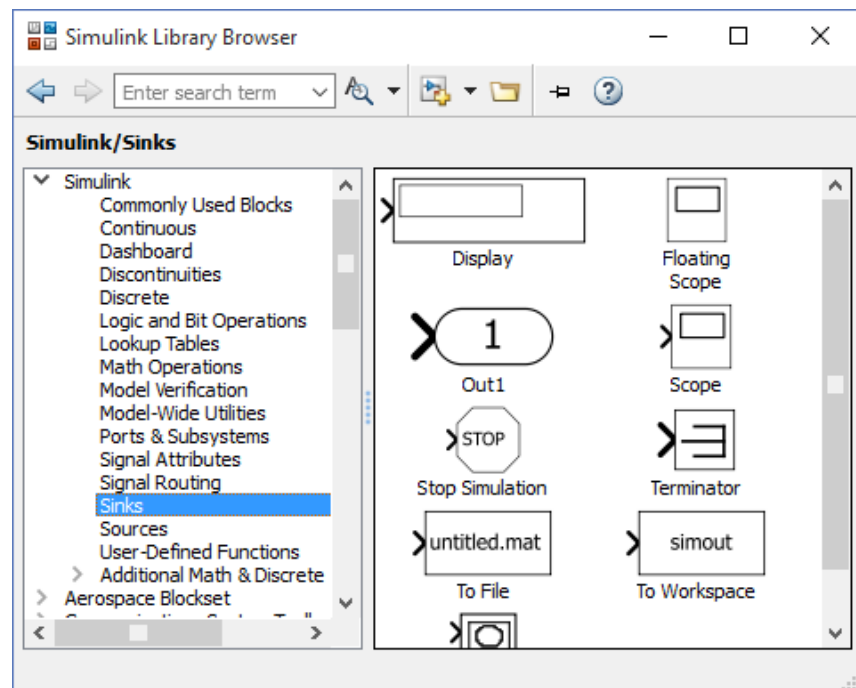


Рис. 6.4. Вікно розділу *Sinks* з блоками

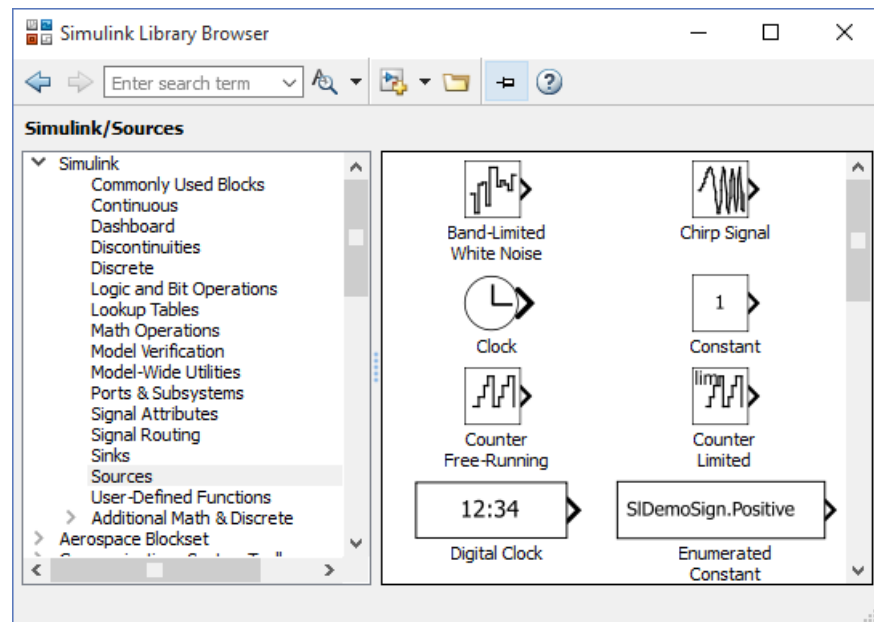


Рис. 6.5. Вікно розділу *Sources* з блоками

Позначивши потрібний блок курсором та натиснувши на ліву кнопку «миші», перетягують блок у вікно моделі. На рис. 6.6 зображено вікно моделі з трьома блоками.

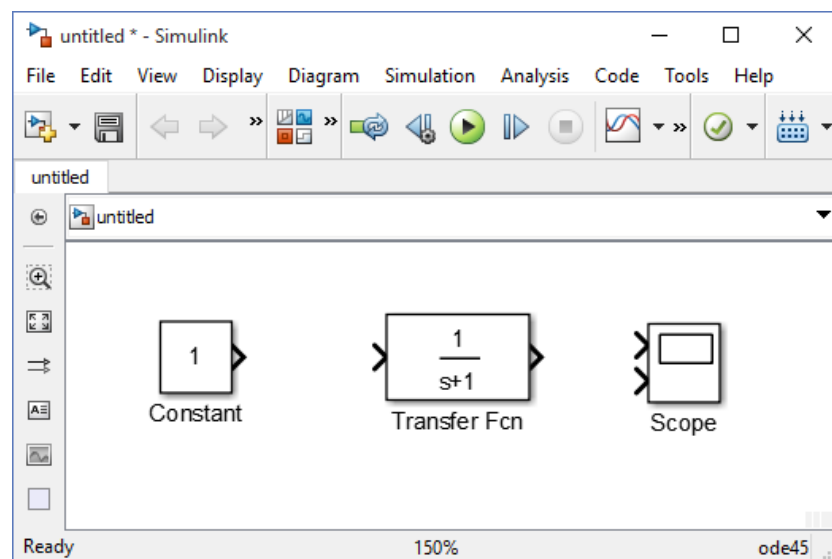
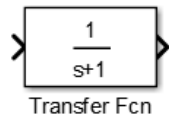


Рис.6.6. Вікно моделі з блоками

Для встановлення потрібних параметрів блока (кожний з них завжди має певні значення параметрів, встановлені системою) потрібно двічі клацнути ЛКМ на його зображенні.

У результаті з'являється вікно редагування параметрів (розділовим знаком для дробових величин є крапка). На рис.6.7 подано приклад редагування параметрів передавальної функції відповідного блока.



Function Block Parameters: Transfer Fcn

Transfer Fcn

The numerator coefficient can be a vector or matrix expression. The denominator coefficient must be a vector. The output width equals the number of rows in the numerator coefficient. You should specify the coefficients in descending order of powers of s.

Parameters

Numerator coefficients:

1

Denominator coefficients:

[1 1]

Absolute tolerance:

auto

State Name: (e.g., 'position')

"

OK Cancel Help Apply

Рис. 6.7. Вікно редагування параметрів передавальної функції

Для створення нечіткої системи керування у робочому полі *Simulink* складаємо схему зображену на рис.6.8.

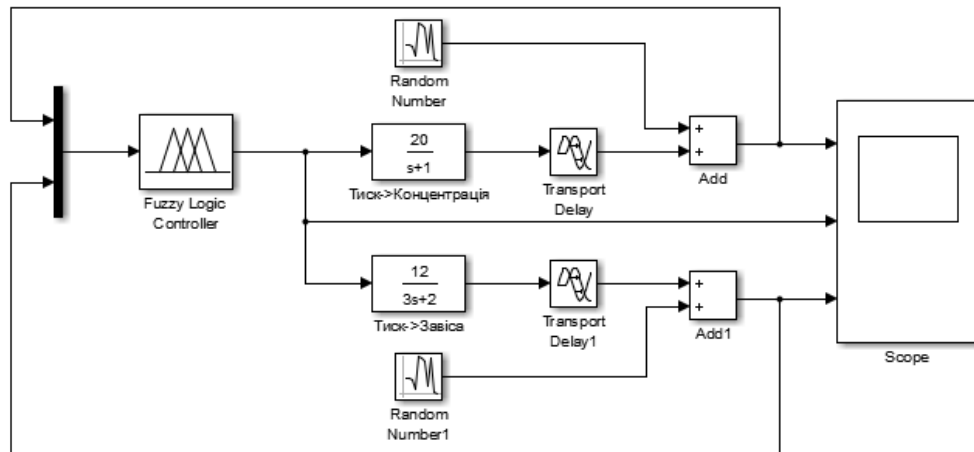


Рис. 6.8. Модель нечіткої системи керування у *Simulink*

Блок *Fuzzy Logic Controller* розділу *Fuzzy Logic Toolbox* містить моделі та правила продукції, створені у попередніх лабораторних роботах №4 та №5.

Розглянемо спосіб його налаштування (рис.6.9).

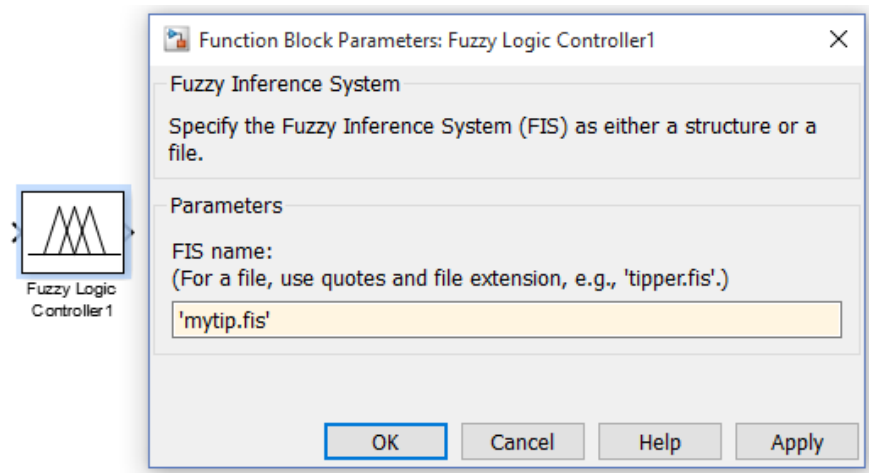


Рис.6.9. Вікно налаштування блока *Fuzzy Logic Controller*

Для занесення у блок бази знань *Fuzzy Logic Controller* необхідно в полі *FIS name* ввести назву з розширенням раніше створеного файлу у *Fuzzy Logic Designer*, в нашому випадку вводимо *mytip.fis*, що був створений у попередніх лабораторних роботах.

Якщо система нечіткого логічного висновку має декілька входів, тоді в *Simulink* – модулі ці входи необхідно мультіплексувати разом до вводу в нечіткий контролер. Аналогічно, якщо система нечіткого логічного висновку має декілька виходів, тоді вихідні сигнали блоку будуть представлені однією мультіплексною лінією.

Значення передатних функцій блоків «Тиск – Концентрація» та «Тиск – Завіса», а також транспортні запізнювання до відповідних їм блоків заносять згідно номеру бригади.

Після створення та налаштування моделі НЧСК треба виконати її випробування. Приклади графіків перехідних процесів отриманих в результаті випробування показані на рис.6.10.

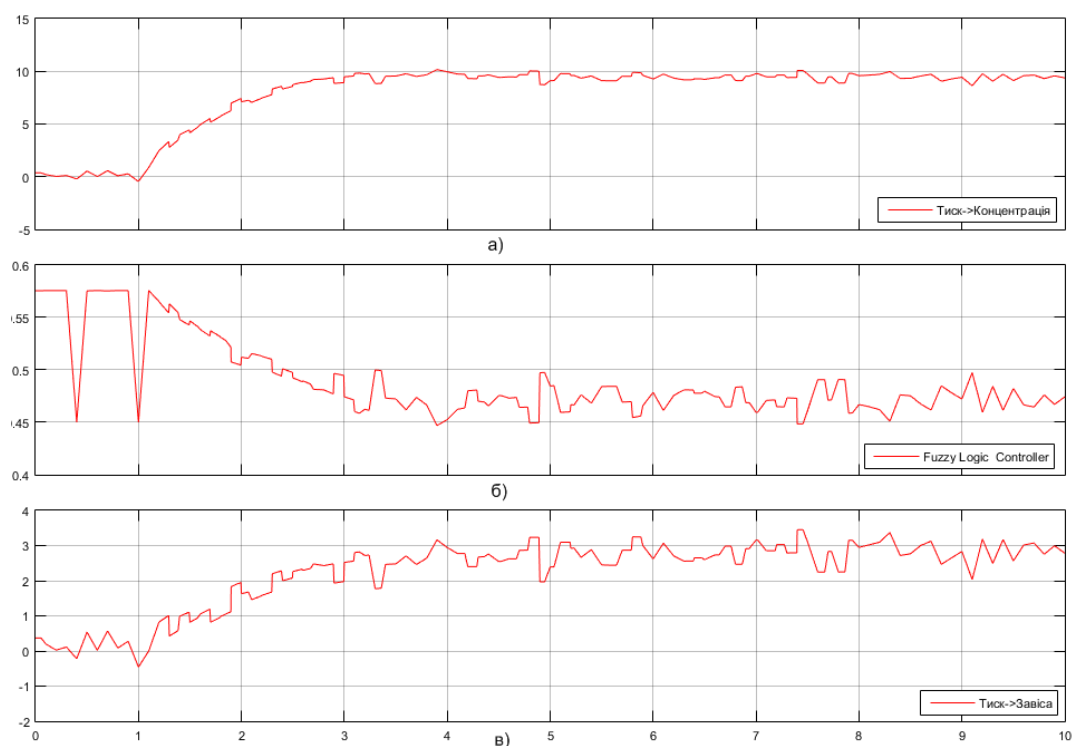


Рис. 6.10. Графіки роботи НЧСК::

а) перехідна характеристика за каналом «Тиск→Концентрація дрібної фракції; б) керувального сигналу контролера; в) перехідна характеристика за каналом «Тиск→Щільність завіси»

Порядок виконання роботи

1. Скласти модель системи керування процесами сушіння та гранулювання у *Simulink* згідно до рис. 6.8.
2. Дослідити роботу моделі та зафіксувати графіки значень контрольованих величин.
3. Увести у модель рис. 6.8 канали збурення по вологості пульпи і дослідити їх вплив на роботу системи керування.
4. Використати у моделі рис. 6.8 блок *Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer*.

Вміст звіту

Моделі нечіткої системи керування у *Simulink* без каналів збурення по вологості пульпи та з ними. Графіки роботи нечіткої системи керування при різних типах нечітких регуляторів.

Контрольні запитання і завдання

1. Як увести у модель *Simulink* базу знань нечіткої системи керування, створену за допомогою функції *fuzzi*?
2. У яких розділах бібліотеки знаходиться кожний блок моделі нечіткої системи?
3. Пояснити результати досліджень, проведених у лабораторній роботі.

Лабораторна робота №7

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ

Мета роботи: Навчитися створювати нейронні мережі засобами *NNTool MATLAB* та дослідити особливості ідентифікації об'єктів керування за допомогою нейронних мереж.

Стислі теоретичні відомості

Нейронні мережі (*NN – Neural Networks*) використовують для виконання різноманітних завдань. Серед галузей їх застосування – обробка аналогових і цифрових сигналів, синтез та ідентифікація об'єктів і систем. Математичний процесор *MATLAB* має спеціалізовані засоби для створення нейронних мереж.

Обробка сигналів у технологіях *NN* виконується за допомогою мереж з пам'яттю та без пам'яті. В обох випадках ключовим елементом є мережа без пам'яті. При використанні нейронів з певними функціями активації (передавальними характеристиками) *NN* є універсальним апроксиматором. Останнє означає, що в заданому діапазоні зміни вхідних змінних вона може з заданою точністю відтворювати (моделювати) довільну безперервну функцію цих змінних.

У лабораторній роботі розглянуті питання, пов'язані з мережами прямого поширення сигналу, тобто без зворотних зв'язків. Головною позитивною властивістю таких мереж є їх стійкість.

Вибір структури *NN* і типів нейронів – самостійна достатньо складна задача, у цій роботі вона не розглядається. Після того як структура *NN* обрана, повинні бути визначені її параметри. Це досягають шляхом розв'язування певної задачі оптимізації, таку процедуру в теорії *NN* називають навчанням мережі.

У *MATLAB* вбудовано спеціалізований пакет *NNTool* для роботи з нейронними мережами. Графічний інтерфейс *NNTool* дозволяє досить зручно для користувача вибирати структури *NN* з великого переліку і надає безліч алгоритмів навчання для кожного типу мережі.

Розглянемо наступні питання, пов'язані з роботі з *NNTool*:

- призначення графічних керуючих елементів;
- підготовка даних;
- створення нейронної мережі;
- навчання мережі;

Керувальні елементи *NNTool*. Для завантаження *NNTool*, необхідно виконати однойменну команду в командному вікні *MATLAB*:

```
>> nntool
```

Після цього з'явиться головне вікно *NNTool* (рис. 7.1): «Вікно керування мережами і даними» (*Network / Data Manager*) (рис. 1) має функціональні клавiші з наступними призначеннями:

- Імпорт (*Import ...*) – імпорт даних з робочого простору *MATLAB* в простір змінних *NNTool*;
- Нові дані (*New ...*) – виклик вікна, що дозволяє створювати нейронні мережі та нові набори даних;
- Вигляд (*Open ...*) – відкриття вікна перегляду та редагування наборів даних або нейронних мереж;
- Експорт (*Export ...*) – експорт даних з простору змінних *NNTool* в робочий простір *MATLAB* або файл;
- Видалення (*Delete*) – видалення обраного об'єкта;
- Допомога (*Help*) – короткий опис керуючих елементів цього вікна;
- Закриття (*Close*) – закриття вікна *NNTool*.

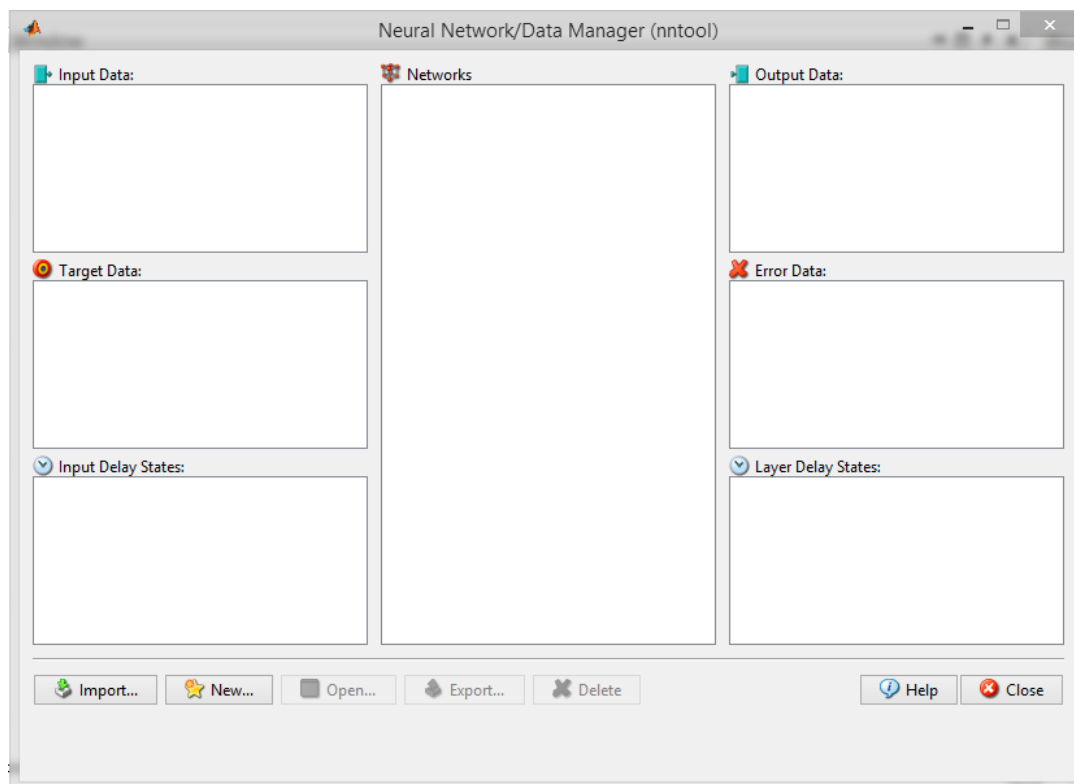


Рис. 7.1. Головне вікно *NNTool*

Розглянемо як приклад створення нейронної мережі за допомогою *NNTool*, яка призначена для визначення масової частки оксидів азоту C %, розчинених в азотній кислоті.

Азотну кислоту перед направленням у резервуари для зберігання очищують від оксидів азоту. Для цього у спеціальному апараті крізь неї продувають повітря. Повітря захоплює розчинені в кислоті оксиди азоту, тим самим зменшуючи їх частку в кислоті. На процес очищення впливають такі фактори як витрата повітря V , м³/с, витрата кислоти F , м³/с, рівень кислоти в апараті L , м.

Отже, створювана нейронна мережа призначена для ідентифікації об'єкта керування, тобто отримання залежності частки оксидів азоту в кислоті від трьох змінних:

$$C = f(V, L, F).$$

У результаті лабораторних аналізів кислоти за певний проміжок часу були отримані експериментальні дані, що наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Експериментальні дані дослідження процесу очищення кислоти

№	V	L	$F, 10^3$	C	№	V	L	$F, 10^3$	C
1	0,861	0,650	1,111	0,091	16	0,694	0,550	1,944	0,140
2	0,889	0,650	1,111	0,088	17	1,000	0,600	1,250	0,070
3	1,139	0,600	1,806	0,078	18	0,917	0,650	1,944	0,130
4	0,861	0,700	2,083	0,152	19	0,806	0,600	1,528	0,116
5	1,128	0,700	1,250	0,051	20	0,806	0,750	0,833	0,107
6	1,389	0,750	1,944	0,079	21	0,972	0,650	0,972	0,074
7	1,194	0,650	1,806	0,081	22	0,750	0,750	1,806	0,164
8	0,917	0,550	0,833	0,065	23	1,111	0,650	1,528	0,073
9	1,111	0,500	1,667	0,064	24	1,028	0,750	0,972	0,072
10	0,750	0,650	1,389	0,125	25	1,194	0,550	1,250	0,047
11	1,333	0,700	2,222	0,082	26	1,194	0,700	1,667	0,085
12	1,306	0,600	0,833	0,038	27	1,139	0,550	1,111	0,048
13	1,278	0,500	1,528	0,046	28	0,694	0,700	1,944	0,169
14	0,861	0,550	1,389	0,087	29	0,722	0,700	1,111	0,121
15	1,111	0,500	1,528	0,060	30	0,917	0,500	2,222	0,107

Створення мережі. Виберемо мережу, яка має 3 входи, 1 прихований шар з 2 нейронів та один вихід.

Перед створенням мережі необхідно підготувати набір навчальних і цільових даних. Такими даними в нашому випадку є експериментальні дані (табл. 7.1).

Навчальні дані задають матрицею розміром $n \times m$, де n – кількість рядків, яка відповідає кількості входів мережі, а m – кількість стовбців, що дорівнює кількості елементів в навчальній вибірці. Цільові дані задаються матрицею розміром $l \times m$, де l – кількість виходів мережі. Щоб задати вхідну матрицю, створимо в робочому просторі *MATLAB* матрицю з трьома рядками: перший рядок відповідає витраті повітря V ; другий – рівню кислоти в апараті L ; третій – витраті кислоти F . Скористаємося кнопкою *Import*. У вікні, що з'явилося (рис. 7.2), треба вибрати необхідну матрицю (у на це матриця **A**) і натиснути на клавішу «Створити» (*Create*).

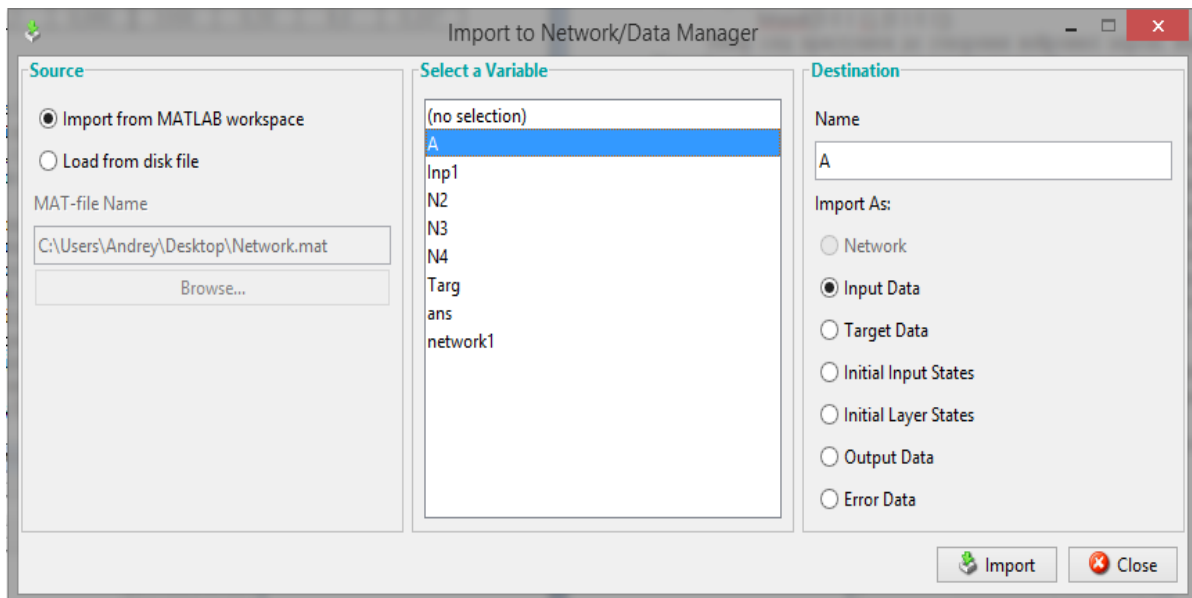


Рис. 7.2. Задання вхідних векторів

Після цього у вікні управління у розділі *Input Data* з'явиться матриця **A**. Вектор цілей задамо схожим чином (рис. 7.3).

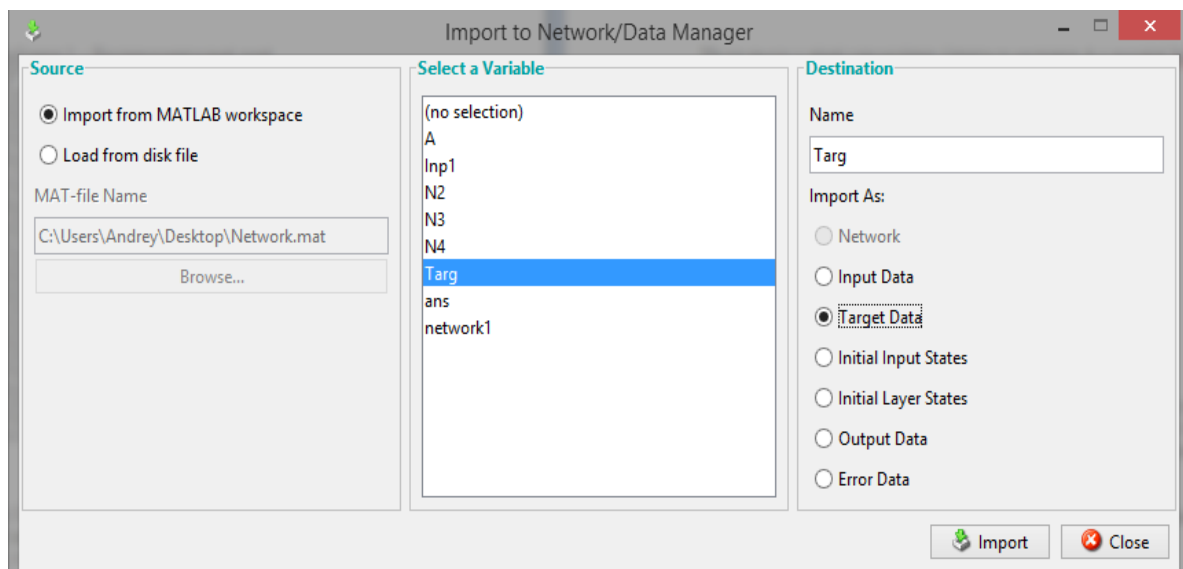


Рис. 7.3. Задання цільових векторів

Після натискання на *Create* у розділі *Targets* з'явиться вектор *Targ*.

Для того, щоб задати входи та цілі можна було натиснути на кнопку *New* на вкладці *Data*, увівши дані в вікно *Value*.

Після внесення даних перейдемо до створення нейронної мережі. Вибираємо кнопку *New* і заповнюємо форму так, як показано на рис. 7.4.

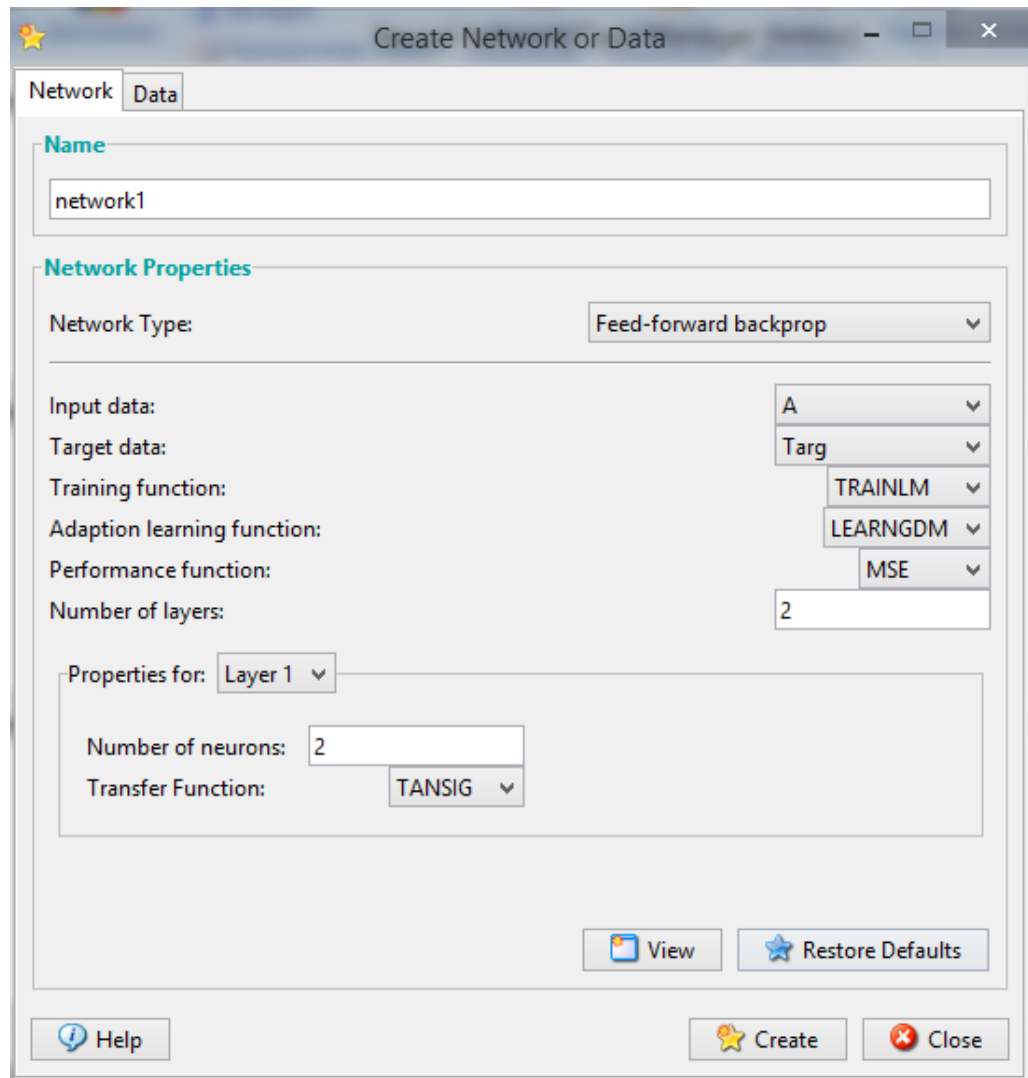


Рис. 7.4. Вікно «Створення мережі»

Поля цього вікна мають наступні смислові навантаження:

- Ім'я мережі (*Name*) – задання імені створюваної мережі.
- Тип мережі (*Network Type*) – визначення типу мережі і в контексті обраного типу подає для введення різні параметри в частині вікна, розташованій нижче цього пункту. Таким чином, для різних типів мереж вікно змінює свій зміст.
- Вхідні дані (*Input data*) – вибір вхідних даних.
- Цільові виходи мережі (*Target data*) – вибір цільових даних.
- Кількість нейронів (*Number of neurons*) – задання кількості нейронів у шарі.

- Передавальна функція (*Transfer function*) – вибір функції активації нейронів.
- Функція навчання (*Training function*) – вибір функції, що відповідає за оновлення ваг і зсувів мережі в процесі навчання.
- Кількість шарів (*Number of layers*) – задання кількості прихованих шарів нейронної мережі, враховуючи вихідний.

За допомогою кнопки «Вид» (*View*) можна подивитися архітектуру створеної мережі (рис. 7.5). Так, ми маємо можливість пересвідчитися, чи всі дії були проведені вірно.

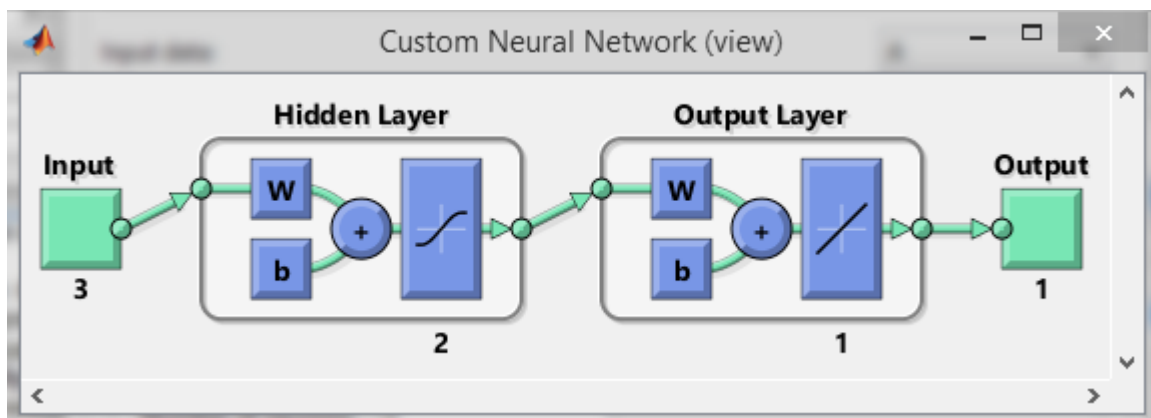


Рис. 7.5. Вікно попереднього перегляду створеної мережі

Отже, структура мережі відповідає нашому завданню. Тепер можна закрити вікно попереднього перегляду і підтвердити намір про створення мережі. Це виконують натисканням кнопки «Створити» (*Create*) у вікні створення мережі (рис. 7.4).

У результаті виконаних операцій в розділі «Мережі» (*Networks*) головного вікна *NNTool* з'явиться об'єкт на ім'я *network1*.

Навчання мережі. Відомо, що нейронна мережа зразу після формування не буде забезпечувати правильний результат. Для отримання адекватної моделі об'єкта мережу необхідно належним чином навчити, тобто підібрати оптимальні значення її параметрів.

Для цього слід повернутися до головного вікна *NNTool*. Позначивши покажчиком миші об'єкт мережі *network1*, відкриємо вікно управління мережею натисканням кнопки *Open*. Перед нами постане вкладка – вікно властивостей мережі. Перейдемо на вкладку *Train*, що містить, у свою чергу, ще одну панель вкладок (рис. 7.6). Їх головне призначення – управління процесом навчання. На вкладці «Інформація навчання» (*Training info*) потрібно вказати набір навчальних даних у полі «Входи» (*Inputs*) і набір цільових даних у полі «Цілі» (*Targets*). Поля «Виходи» (*Outputs*) і «Помилки» (*Errors*) *NNTool* заповнюються автоматично. При цьому результати навчання, до яких належать виходи і помилки, будуть зберігатися в змінних із зазначеними іменами.

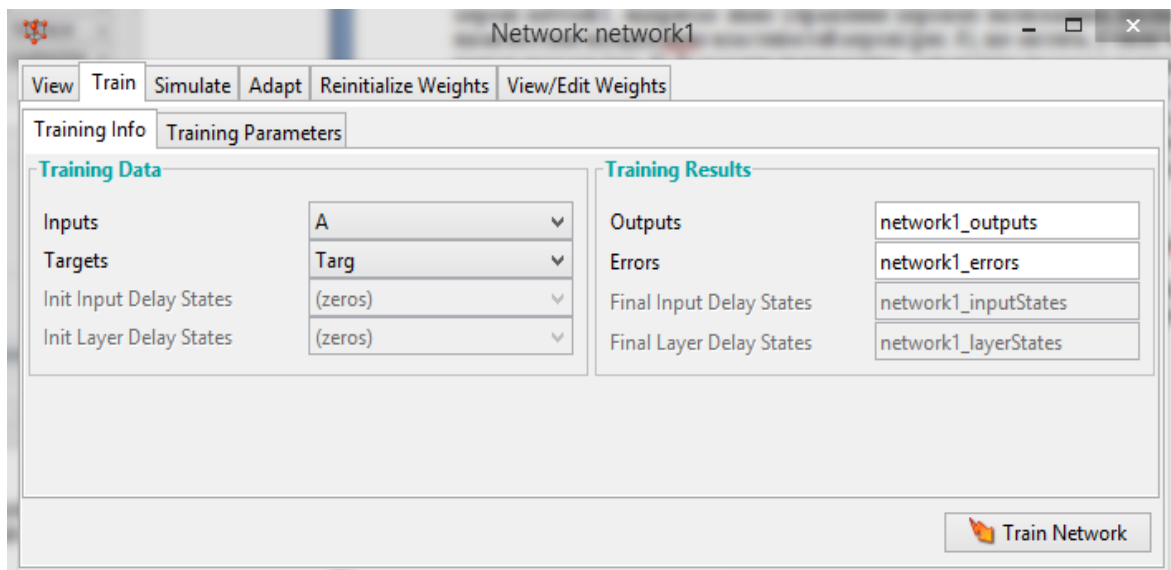


Рис. 7.6. Вікно параметрів мережі, що відкрите на вкладці «Навчання» (*Train*)

Завершити процес навчання можна, керуючись різними критеріями. Можливі ситуації, коли доречно зупинити навчання, вважаючи достатнім деякий інтервал часу. З іншого боку, об'єктивним критерієм є значення помилки.

На вкладці «Параметри навчання» (*Training parameters*) для нашої мережі (рис. 7.7) можна встановити наступні поля:

- Кількість епох (*epochs*) – визначає число епох (інтервал часу), по закінченні яких навчання буде припинено. Епохою називають одноразове подання всіх навчальних вхідних даних на входи мережі.
- Досягнення мети або попадання (*goal*) – тут задається абсолютна величина функції помилки, при якій мета буде вважатися досягнутою.
- Період оновлення (*show*) – період оновлення графіка кривої навчання, виражений числом епох.
- Час навчання (*time*) – після закінчення зазначеного тут часового інтервалу, поданого в секундах, навчання припиняється.

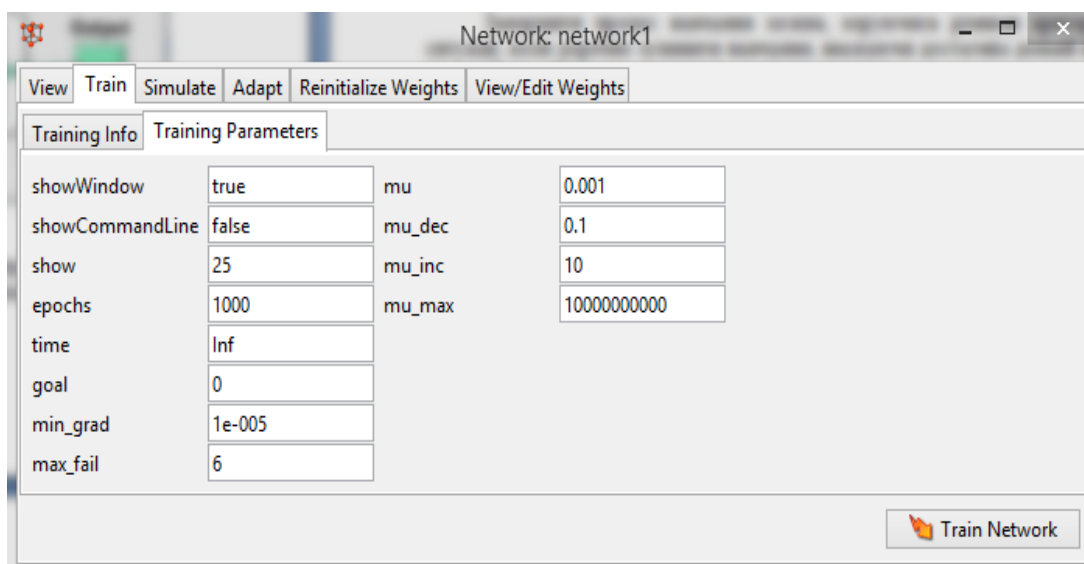


Рис.7.7. Вікно вкладки визначення параметрів навчання

Значення параметрів залишимо за умовчанням. Зауважимо тільки, що поле часу навчання містить запис *Inf*, який визначає нескінченний інтервал часу (від англійського *Infinite* – нескінченний).

Для того, щоб почати навчання, потрібно натиснути на кнопку «Навчити мережу» (*Train Network*). Після цього з'явиться вікно (рис. 7.8) в якому відображатиметься стан навчання мережі.

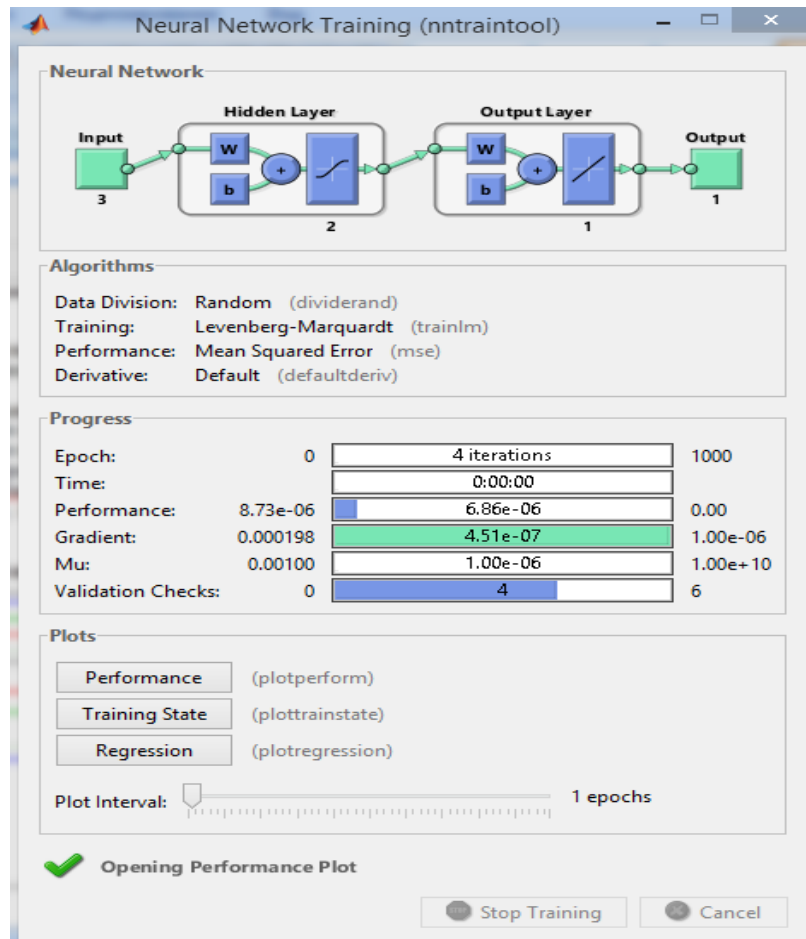


Рис. 7.8. Вікно інформації про стан навчання мережі

Після закінчення навчання можна переглянути графік, що ілюструє динаміку цільової функції – криву навчання. У нашому випадку графік може виглядати так, як показано на рис. 7.9. Кнопкою «Зупинити навчання» (*Stop Training*) можна припинити процес навчання. З рис. 7.8 видно, що навчання було зупинено, коли градієнт досяг мінімального значення.

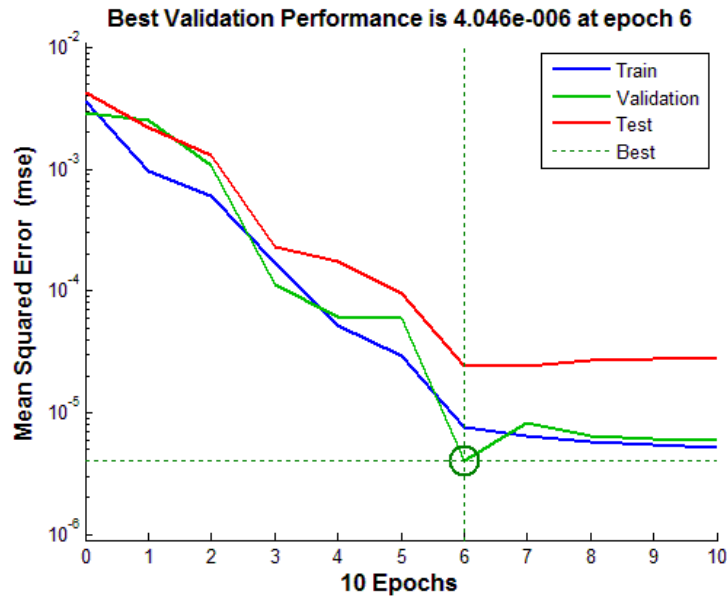


Рис. 7.9. Криві навчання

Отже, алгоритм навчання знайшов розв'язок задачі.

З методичних міркувань продемонструємо роботу нейронної мережі.

Для цього експортуємо мережу в робочий простір *MATLAB* і виконаємо наступний скрипт:

```
[X, Y]=meshgrid(0,833*10^-3:10^-4:2,222*10^-3, 0.2:0.05:1);
k=size(X);
for j=1:k(1,1),
for i=1:k(1,2),
    Z1(j,i)=network1([0,694;Y(j,i);X(j,i)]);
    Z2(j,i)=network1([1,389;Y(j,i);X(j,i)]);
end
end
surf(X, Y, Z1);
hold on;
surf(X, Y, Z2);
```

Функція $[X, Y] = \text{meshgrid}(x, y)$ формує масиви X і Y , які визначають координати вузлів прямокутника, який задають векторами x та y . Цей прямокутник відповідає області визначення функції двох змінних, яку можна побудувати у вигляді 3D-поверхні.

Команда $\text{surf}(X, Y, Z)$ виводить на екран сітчасту поверхню для значень масиву Z , визначених на множині значень масивів X і Y .

Команда *hold on* включає режим зберігання поточного графіку і параметрів об'єкту *axes*, так що наступні команди призведуть до додавання нових графіків в графічному вікні.

Команда $\text{size}(X)$ визначає розмірність масиву X .

У результаті описаних дій отримаємо дві поверхні в просторових координатах (рис. 7.10), які відображають вміст оксидів азоту в кислоті в залежності від рівня кислоти та її витрати. Вісь X відповідає витраті кислоти F , вісь Y – рівню кислоти в апараті, вісь Z – вмісту оксидів азоту. Нижня площина розрахована при витраті повітря $V = 0,694 \text{ м}^3/\text{с}$, верхня – при $V = 1,389 \text{ м}^3/\text{с}$.

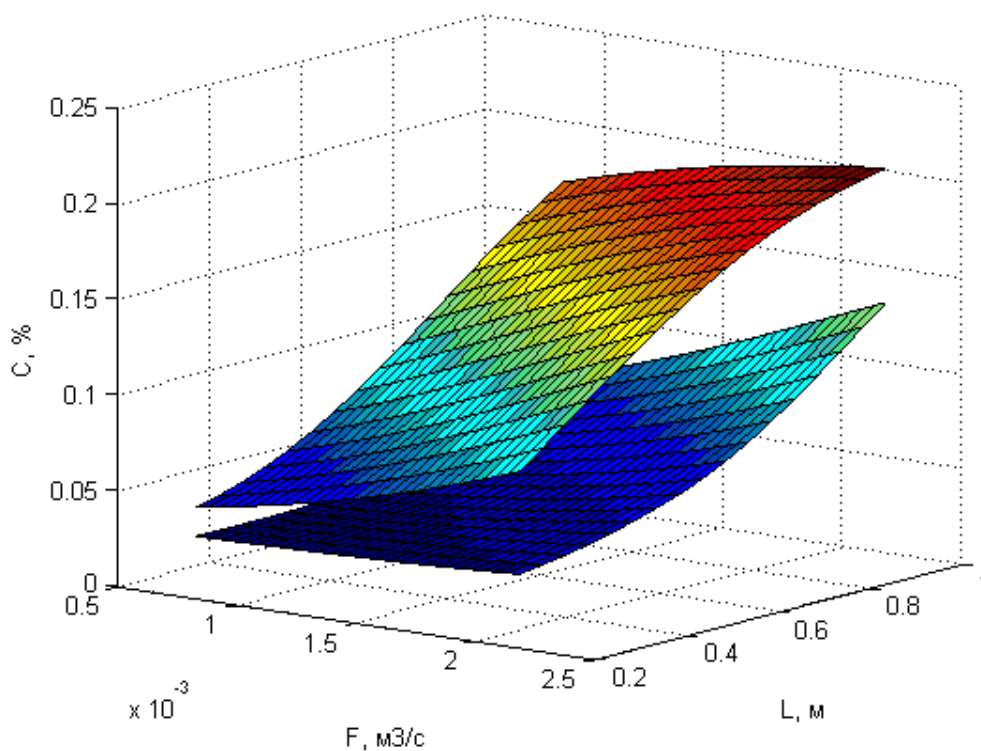


Рис. 7.10. Вміст оксидів азоту в залежності від рівня кислоти та її витрати

Створена нейронна мережа дозволить прогнозувати вміст оксидів азоту в кислоті.

Слід зауважити, що мережа створюється ініціалізованою, тобто, значення ваг і зсувів задають певним чином. Перед кожним наступним дослідом навчання початкові умови звичайно оновлюють. Для цього на вкладці «Ініціалізація» (*Initialize*) передбачена функція ініціалізації. Якщо потрібно провести декілька незалежних дослідів навчання, ініціалізацію ваг і зсувів перед кожним з них здійснюють натисканням кнопки «Ініціалізувати ваги» (*Initialize Weights*).

При виборі нейронної мережі для виконання конкретного завдання важко передбачити її порядок. Якщо вибрати невиправдано великий порядок, мережа може виявитися занадто гнучкою і може подати нескладну залежність складним чином. Це явище називають перенавчанням. У разі мережі з недостатньою кількістю нейронів, навпаки, задане значення помилки може стати недосяжним.

Для попередження перенавчання застосовують наступну методику. Дані розділяють на дві множини (вибірки): навчальна (*Training Data*) та контрольна (*Validation Data*). Контрольну множину в навчанні не використовують. На початку роботи помилки мережі на навчальній та контрольній множинах задають однаковими. У міру того, як мережа навчається, помилка навчання зменшується. Доки навчання зменшує дійсну функцію помилки, помилка на контрольній множині також буде спадати. Якщо ж контрольна помилка припинила зменшуватися або навіть стала зростати, то навчання слід закінчити. Зупинка на цьому етапі називається ранньої зупинкою (*Early stopping*).

Таким чином, необхідно провести серію експериментів з різними мережами перш ніж буде отримана необхідна. Для того, щоб не бути введеним в оману локальними мінімумами функції помилки, слід кілька разів навчати кожну мережу.

Якщо в результаті послідовних кроків навчання і контролю помилка залишається неприпустимо великою, доцільно змінити модель нейронної мережі (наприклад, ускладнити мережу, збільшивши кількість нейронів, або використати мережу іншого виду). У такій ситуації рекомендують застосовувати ще одну множину – тестову множину спостережень (*Test Data*), яка є незалежною вибіркою з вхідних даних. Нейронну мережу, яка пройшла навчання, тестують на цій множині. Така процедура дає додаткову можливість переконатися в достовірності отриманих результатів. Тестова множина повинна бути використана тільки один раз. Якщо її використати і для коригування мережі, то вона фактично перетвориться на контрольну множину.

Порядок виконання роботи

1. Відкрити вікно *MATLAB*.
2. Обрати функцію та створити набір навчальних даних на вказаному діапазоні:

$$y(x) = 1 + 2 \cdot x \cdot \sin(2/x) - 2 \cdot \cos(2/x), x = 0,1 \dots 1;$$

$$y(x) = \exp(-7 \cdot x^2 + 7 \cdot x^{0,5}) \cdot \sin(10 \cdot \pi \cdot x), x = 0 \dots 1;$$

$$y(x) = \sin(2 \cdot \pi \cdot x)^5 + \cos(5 \cdot \pi \cdot x)^3, x = 0 \dots 1;$$

$$y(x) = 0,0001 \cdot x^4 - 0,001 \cdot x^3 - 1,2 \cdot x^2 + 50 \cdot x + 20, x = -120 \dots 100$$

3. Підібрати структуру та навчити нейромережу на базі персептрону (*Feed-forward backprop*) так, щоб остання досить точно апроксимувала обрану функцію.

4. Вивести на екран в одних координатних осях графік функції, що підлягала апроксимації, та отриманих значень від створених нейронних мереж.

5. Зробити висновок про якість апроксимації за графіком.

Вміст звіту:

Зображення архітектур створених нейромереж; графіки навчання нейромереж; графіки еталонної функції та апроксимованої нейромережами.

Контрольні запитання та завдання

1. В якому вигляді необхідно подавати вхідні і вихідні дані в пакеті *NNTool*?
2. Як впливає надмірне узагальнення нейронної мережі на її роботу?
3. Як впливає перенавчання нейронної мережі на її роботу?
4. Як уникнути перенавчання мережі?
5. Як уникнути локальних мінімумів при навчанні мережі?
6. Які функції активації нейронів ви знаєте? Напишіть формули та наведіть графіки.
7. Зобразіть персептрон з 4 входами, 2 виходами, який містить 2 прихованих шари по 3 нейрони в кожному.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інтелектуальні системи управління: Курс лекцій до теми «Системи експертного оцінювання» розділу «Основи штучного інтелекту» кредитного модуля «Інтелектуальні системи управління» для студ. спец. 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Уклад.: Л.Д. Ярощук. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 40 с. ., свідоцтво про електронну публікацію ІХФ № А 05/17-24, 2017.
2. Черных И.В. *Simulink*: Инструмент моделирования динамических систем. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: matlab.txponente.ru/simulink/book1/index.php
3. Дьяконов В.П. *MATLAB 6/6.1\6.5+Simulink 4\5* в математике и моделировании. Полное руководство пользователя. – М.: СОЛОН – Пресс, 2003. – 576 с.
4. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения *MATLAB*. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
5. Комашинский В. И., Смирнов Д. А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. – М.: Горячая линия–Телеком, 2003. – 94 с.
6. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия–Телеком, 2002. – 382 с.
7. Апостолук, В. О. Інтелектуальні системи керування [Текст]: конспект лекцій / В. О. Апостолук, О. С. Апостолук. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 88 с.
8. Гайна, Г. А. Системи штучного інтелекту [Текст]: навч. посіб. /. – К.: КНУБА, 2007. – 208 с.
9. Гладченко, О.В. Штучний інтелект. Експертні та навчальні системи [Текст]: навч. посіб. / О. В. Гладченко. – Ірпінь: Національний університет ДПС України, 2008 – 84 с.

10. Глибовець, М. М. Штучний інтелект [Текст]: підручник / М. М. Глибовець, О. В. Олецький. – К.: Вид. дім «КМ Академія», 2002. – 366 с.
11. Кавун, С. В. Системи штучного інтелекту [Текст]: навч. посіб. / С. В. Кавун, В. М. Коротченко. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2007. – 320 с.
12. Калініна, І. О. Методи штучного інтелекту [Текст]: навч. посіб. / . – Миколаїв; НУК, 2007. – 56 с.
13. Остапенко, Ю. О. Застосування експертної системи для керування процесом випалювання керамічної цегли [Текст] / Ю. О. Остапенко, І. В. Ярощук // Автоматизація виробничих процесів. – 2001. – №2 (13). – с. 35-40.